



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**KLASİK VE MODERN KONTROL
METOTLARININ PERFORMANSINI
KARŞILAŞTIRAN GERÇEK ZAMANLI
DENEY DÜZENEĞİ TASARIMI**

ERDİ ŞENOL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mekatronik Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Uğur KESEN

İSTANBUL, 2020



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



KLASİK VE MODERN KONTROL METOTLARININ PERFORMANSINI KARŞILAŞTIRAN GERÇEK ZAMANLI DENEY DÜZENEĞİ TASARIMI

ERDİ ŞENOL

(523515006)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mekatronik Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Uğur KESEN

İSTANBUL, 2020

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Erdi ŞENOL'un "Klasik Ve Modern Kontrol Metotlarının Performansını Karşılaştıran Gerçek Zamanlı Deney Düzeneği Tasarımı " başlıklı tez çalışması, 20 Ocak 2020 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

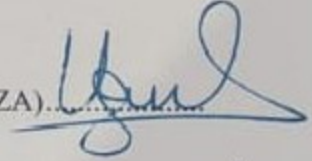
Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Uğur KESEN

(Danışman)

Marmara Üniversitesi

(İMZA)

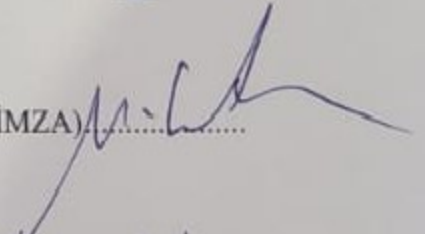


Prof. Dr. Mustafa Caner AKÜNER

(Üye)

Marmara Üniversitesi

(İMZA)

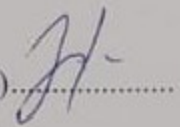


Prof. Dr. Dante J. DORANTES-GONZALEZ

(Üye)

Marmara Üniversitesi

(İMZA)

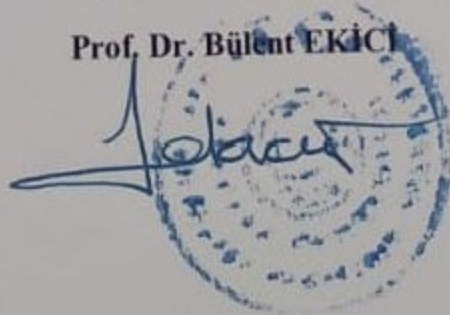


ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 22./01/2020 tarih ve 2020/03-02 sayılı kararı ile Erdi Şenol'un Mekatronik Anabilim Dalı Mekatronik Mühendisliği Programında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Bülent EKİCİ



TEŐEKKÖR

Tüm yüksek lisans hayatım boyunca desteğini esirgemeyen saygı değer hocam Üyesi Dr. Uğur KESEN' e, değerli arkadaşım Mehmet Fatih ÇELEBİ'ye; Beni yetiştirip bu günlere gelmemi sağlayan, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme; Tez boyunca teknik konularda yardımcı olan tüm dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ocak, 2020

Erdi ŞENOL

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
	i
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
SEMBOL LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Genel Bilgiler	1
1.2 Tezin Amacı	2
2. TEZDE KULLANILAN KONTROL METOTLARI	3
2.1 Kontrol Sistem Tanımları	3
2.2 Kontrol Sistemlerinin Türleri	4
2.2.1 Girdi Ve Çıktıya Göre Kontrol Sistem Türleri:	4
2.2.2 Geri Beslemeye Göre Kontrol Sistem Türleri:	4
2.2.2.1 Açık Çevrim Kontrol Sistemi:	4
2.2.2.2 Kapalı Çevrim Kontrol Sistemi:	5
2.3 Otomatik Kontrolörler:	6
2.4 Klasik Kontrol Metotları	7
2.4.1 Aç/Kapa kontrol:	7
2.4.2 Oransal kontrol (P kontrol):	8
2.4.3 Oransal integral kontrol (PI kontrol):	10
2.4.4 İntegral kontrol (I Kontrol):	12
2.4.5 Oransal Türevsel Kontrol (PD Kontrol):	12
2.4.6 Oransal, integral ve türev kontrol (PID kontrol):	15
2.5 Modern Kontrol Metotları	17
2.5.1 Zaman Alanı Yöntemiyle Kontrol Sistemi Tasarımı	17

2.5.2 Harmonik Denetim Dizileri Yöntemiyle Ayırık Zaman Kontrolü:	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM	19
3.1 Kullanılan Yazılımlar:	19
3.1.1 Arduino IDE yazılımı	19
3.1.2 LabVIEW yazılımı	20
3.1.3 LabVIEW'e Genel Bakış	21
3.1.3.1 Front Panel:	21
3.1.3.2 Block Diagram:	22
3.1.3.3 Icon Connector Panel:	22
3.2 Deney Düzeneği Tasarımı	23
3.2.1 DC Motor Deney Düzeneğinde Kullanılan Materyaller	24
3.2.1.1 Doğru Akım Motoru (DC Motor)	24
3.2.1.2 DC Motor Sürücü	26
3.2.1.3 Enkoder	27
3.2.1.4 Akım Gerilim Sensörü	28
3.2.2 Sıcaklık Kontrolü Deney Düzeneği	29
3.2.2.1 Sıcaklık Kontrol Düzeneğinde Kullanılan Materyaller	29
3.2.2.2 Veri Toplama Kartı	30
3.2.2.3 Sıcaklık Algılayıcısı (LM35)	30
3.2.2.4 Röle	31
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	33
4.1 DC Motor Hız Kontrol Deney Düzeneği	33
4.2 Transfer Fonksiyonu Bilinen Sistemin Kontrolü	33
4.2.1 Modeli Bilinmeyen Sistemin Kontrolü	34
4.2.1.1 Hız Kontrol Uygulaması	35
4.2.1.2 Tork Kontrol Uygulaması	38
4.2.1.3 Harmonik Denetim Dizileri Yöntemiyle Ayırık Zaman Kontrolü	41
4.2.2 Sıcaklık Kontrol Düzeneğinde Kullanılan Yöntem	43
4.3 Eğitim Ölçme Değerlendirme	47

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	51
6. KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	54



ÖZET

KLASİK VE MODERN KONTROL METOTLARININ PERFORMANSINI KARŞILAŞTIRAN GERÇEK ZAMANLI DENEY DÜZENEGİ TASARIMI

Mühendislik bölümlerinin lisans ve lisans sonrası eğitim seviyelerinde, kontrol sistemleri eğitimi önem arz etmektedir. Elektronik, bilgisayar ve makine bölümlerinde verilen bu alandaki derslerin amacına ulaşabilmesi için teorinin yanında uygulama destekli olması gerekmektedir. Teori odaklı mühendislik eğitiminde uygulamaya da yer verilmesi, mühendislik öğrencilerine farklı sektörlerdeki problemlerini çözme kabiliyeti kazandıracaktır. Bu çalışmada kontrol deney düzeneği ve deney tasarımı yapılması üzerine çalışılacaktır. Kurgulanan deney düzeneğinde temel problemleri basit ve açık şekilde göstermesi dersin başarısı açısından önemlidir. Bu tez çalışması DC motor hız kontrol ve sıcaklık kontrol problemini sayısal kontrol yöntemleri kullanarak modern ve klasik kontrol yöntemlerinin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajlarını mühendislik öğrencilerinin görmelerini sağlamaktadır. Ayrıca yeni bir metot geliştiren araştırmacıların mevcut sonuçlarla kendi sonuçlarını karşılaştırabilmelerine imkân sağlayacaktır. Çalışmada ilk olarak deney sistemindeki malzemelerin davranış özellikleri kullanılarak sistem matematiksel modeli çıkartıldı. Çıkarılan matematiksel model kullanılarak ve/veya matematiksel modeli çıkartılamayan sistemler için klasik ve modern kontrol metotlarıyla kontrol sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan kontrol sisteminin benzetim programıyla davranışı çıkartılacak, son olarak DC motor veya sıcaklık kontrol deney düzeneği üzerinde çalıştırılmıştır. Son olarak deney düzeneğini kullanan mühendislik öğrencileri üzerinde anket çalışması yapılarak, deney sisteminin öğrenimlerine etkileri tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kontrol sistemleri eğitimi, PID denetim, PID kat sayı belirlenmesi, Deney düzeneği tasarımı, Modern Kontrol, Klasik Kontrol

ABSTRACT

REAL-TIME TRAINER SETUP FOR PERFORMANCE COMPARISON OF CLASSICAL AND MODERN CONTROL METHODS

Education of control systems is very important in undergraduate and graduate programs of Engineering faculty. It is necessary that these classes thought in department of electronics, computer, control and mechanical engineering are given both in theoretical and applied to achieve their goals. Engineering students will gain abilities to solve problems in different industries with providing application studies in Engineering education. In the present study we will focus on building a control experimental design. The success of the class depends on how the design setup represents basic problems both simple and clearly. In this study DC motor speed control problem was realized using designed real-time numerical control setup with classic and modern control methods. Thus, Engineering students will acknowledge the advantages and disadvantages of different control methods using control interface. Besides researchers will be able to compare results from their own methods and the recent result. Moreover, Engineering students will create a mathematical model of the system using behavior properties of the matters in this experimental setup. A control system will be designed based on previously generated mathematical model using classical and modern methods for control systems. Behavior of the designed system will be defined using a simulation programme, and finally the control system will be employed on the experimental setup.

Keywords: Control Systems, Systems Dynamics, PID Control, Modern Control, Classic Control

SEMBOL LİSTESİ

Kd	:	Türev Kontrolör Katsayısı
Ki	:	İntegral Kontrolör Katsayısı
Kp	:	Oransal Kontrolör Katsayısı
Tg	:	Gecikme Zamanı
Ty	:	Yükselme Zamanı
Tt	:	Tepe Zamanı
Mp	:	Maksimum Aşma
To	:	Oturma Zamanı
rr	:	Sistem Referans Değeri
et	:	Hata Miktarı
ut	:	Yeni Kontrol Sinyali
Vm	:	Motorun Giriş Voltajı
Ωm	:	Açısal Hız
t	:	Zaman (s)
T	:	Sıcaklık (C)
$\int$	:	İntegral
τ	:	Tau
%	:	Yüzde
<	:	Küçüktür
>	:	Büyüktür
=	:	Eşittir

KISALTMA LİSTESİ

<i>ADC</i>	:	Analog Digital Converter
<i>DAC</i>	:	Digital Analog Converter
<i>DAQ</i>	:	Data Aquisition
<i>PID</i>	:	Proportional Integral Derivative
<i>P</i>	:	Proportional
<i>I</i>	:	Integral
<i>D</i>	:	Derivative
<i>PWM</i>	:	Pulse With Modulation
<i>DC</i>	:	Direct Current
<i>NI</i>	:	National Instruments
<i>Ref</i>	:	Referans
<i>C</i>	:	Capacitor
<i>R</i>	:	Resistor
<i>D</i>	:	Diode
<i>LED</i>	:	Light Emiter Diode
<i>GND</i>	:	Ground
<i>V</i>	:	Volt
<i>V_s</i>	:	Source of Volt
<i>I</i>	:	Current
<i>NPN</i>	:	Negative Positive Negative
<i>PNP</i>	:	Positive Negative Positive
<i>VI</i>	:	Virtual Instruments
<i>subVI</i>	:	Sub Virtual Instrument
<i>PLC</i>	:	Programmable Logic Controller
<i>RTU</i>	:	Remote Terminal Units
<i>PAC</i>	:	Programmable Automation Controller
<i>DCS</i>	:	Distributed Control System
<i>SISO</i>	:	Single Input Single Output
<i>MISO</i>	:	Multiple input Single Output
<i>MIMO</i>	:	Multiple Input Multiple Output

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1: Açık Çevrim Kontrol Sistemi Blok Diyagramı	5
Şekil 2.2: Kapalı Çevrim Kontrol Sistemi	5
Şekil 2.3: Doğrusal Bir Sistemin Birim Basamak Grafiği	6
Şekil 2.4: Aç / Kapa Kontrol Cevap Grafiği	8
Şekil 2.5: P Kontrol Blok Diyagramı	9
Şekil 2.6: P Kontrol Reaksiyon Eğrisi	9
Şekil 2.7: PI Kontrol Blok Diyagramı	10
Şekil 2.8: PI Kontrol Reaksiyon Eğrisi	11
Şekil 2.9: Ki Küçük PI Kontrol Reaksiyon Eğrisi	11
Şekil 2.10: Ki Büyük PI Kontrol Reaksiyon Eğrisi	12
Şekil 2.11: PD Kontrol Blok Diyagramı	13
Şekil 2.12: Kd Küçük PD Kontrol Reaksiyon Eğrisi	14
Şekil 2.13: Kd Büyük PD Kontrol Reaksiyon Eğrisi	14
Şekil 2.14: PID Blok Diagramı	16
Şekil 2.15: PID Kontrol Reaksiyon Eğrisi	16
Şekil 3.1: Arduino IDE Yazılımı	19
Şekil 3.2: LabVIEW Front Panel – Kullanıcı Arayüzü	21
Şekil 3.3: LabVIEW Block Diyagramı – Kodlama Arayüzü	22
Şekil 3.4: Icon Connector Pane	23
Şekil 3.5: Kurulan Deney Düzeneği	23
Şekil 3.6: Tasarlanan DC Motor Deney Düzeneği	24
Şekil 3.7: Deney Düzeneğinde Kullanılan DC Motor Elektrik Devresi	25
Şekil 3.8: Deney Düzeneğinde Kullanılan DC Motor	25
Şekil 3.9: DC Motor Gerilim – Hız Grafiği	26
Şekil 3.10: H-köprüsü DC Motor Sürücü Devre Şeması	27

Şekil 3.11:	LM298N DC Motor Sürücü Kartı	27
Şekil 3.12:	ACS 712 Akım Ölçüm Kartı	28
Şekil 3.13:	ACS 712 Akım Sensörü İç Yapısı	28
Şekil 3.14:	ACS 712 Akım Sensörü	29
Şekil 3.15:	Sıcaklık Kontrol Düzeneği	30
Şekil 3.16:	LM 35 Sıcaklık Algılayıcısı	31
Şekil 3.17:	Röle	32
Şekil 4.1:	Sistem Transfer Fonksiyonu	34
Şekil 4.2:	Sistem Transfer Fonksiyonu	34
Şekil 4.3:	Zaman Kesmesi Ayarlanma Kodu	36
Şekil 4.4:	Enkoder Sinyalinin Sayma Kodu	36
Şekil 4.5:	Kontrol Algoritması	37
Şekil 4.6:	Program Ana Döngüsü	38
Şekil 4.7:	LabVIEW Programının Kod Arayüzü	38
Şekil 4.8:	LabVIEW Programının Kullanıcı Arayüzü	39
Şekil 4.9:	Tork Kontrol Uygulaması Arduino Kodu	40
Şekil 4.10:	Tork Kontrol Uygulaması LabVIEW Programı Kullanıcı Arayüzü	41
Şekil 4.11:	Tork Kontrol Uygulaması LabVIEW Programı Kod Ekranı	42
Şekil 4.12:	Denklemlerde Anlatılan Algoritmanın Arduino Kodu	43
Şekil 4.13:	LabVIEW Kullanıcı Arayüzünde Sistem Sinüs Sinyali Çıkışı	44
Şekil 4.14:	Aç/Kapa Kontrol Metodu Arduino Kodu	46
Şekil 4.15:	LabVIEW Sıcaklık Kontrol Kullanıcı Arayüzü	47
Şekil 4.16:	LabVIEW Sıcaklık Kontrol Program Diyagramı	47
Şekil 4.17:	Okuduğu Bölüme Göre Katılımcı Dağılım Oranı	48
Şekil 4.18:	Öğrenim Düzeyine Göre Katılımcı Dağılım Oranı	49
Şekil 4.19:	Öğrenime Göre Alınan Ders Oranı	49
Şekil 4.20:	Öğrenime Göre Katılımcıların Ders Bilgi Düzeyleri	50
Şekil 4.21:	Deney Düzeneğine İlişkin Başarı ve Fayda Değerlendirmesi	50

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1: Denetleyicilerin Rejime Etkisi	15
Tablo 4.1: Motor Değerleri	33



1. GİRİŞ

1.1 Genel Bilgiler

Güncelliğini hiçbir zaman yitirmeyecek olan kontrol sistemlerinin temeli sanayi devrimine dayanmaktadır. Buhar makinalarının performansının geliştirilmesi için keşfedilen bu yöntem, makineler uyarlandıktan sonra üretilen ürünlerdeki hata miktarını düşürmüş, verimliliği de arttırmıştır. Günümüzde kontrol sistemleri; üretim sürekliliğinin devamı, üretim hızı, enerji verimliliği, makinelerin ömrü gibi konularda kazanım sağladığı için kullanılmaktadır. Kontrol sisteminin başarısı uzman kişiler tarafından tasarlandığında ortaya çıkmaktadır. Alanında yetersiz kişilerin yanlış yöntemler belirleyerek tasarladığı sistemler telafisi olmayacak sonuçlara yol açabilmektedir. [1] Sistemlerin en uygun şekilde çalışması bilgili, tecrübe sahibi ve iyi eğitilmiş kontrol mühendisleri sayesinde olacaktır. Bu nedenle kontrol sistemlerinin eğitimi çok önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Kontrol mühendislerinin, üniversitelerde aldıkları eğitim bu sürecin başlangıcı ve en önemli bir basamağıdır. Eğitim kavramsal ve deneyimsel olmalıdır. Teorik kavramlar eğitimi güçlü kılmaktadır fakat deneyim, somut örnekler ve gerçek fiziksel şartlar eğitimi daha etkin ve kalıcı hale getirmektedir. [2] Alanında deneyimli mühendisler yetiştirmek, mühendislik laboratuvarlarından geçmektedir. Gerçek hayata dayalı mühendislik laboratuvarları, mezunlarına yeterli bilgi ve tecrübeyi katacaktır. Literatürdeki araştırmalar öğrencilerin somut bir örnek görmelerinin öğrenim başarılarını arttırdığını göstermektedir. Bu alanda yapılan mevcut deney setleri kapalı kutu olarak satışa sunulmaktadır. Bu sistemleri kullanan öğrenciler ve geliştiriciler farklı girişlere ve algoritmalara göre, kontrol sisteminin tepkisini gözlemleyememektedirler. Bu sebeple kontrol sistemi tasarımını kendileri yapamamaktadırlar. [3-4] Bu tez çalışmasında teoride karmaşık olan kontrol algoritmalarını gerçek hayata uyarlayarak, öğrencilerin dersin içeriğini anlamaları sağlanmıştır. Farklı kontrol sistem yöntemleri kullanarak gelecekte karşılaşacakları problemlerin çözüm yollarını öğrenmelerini sağlanmıştır. Uygulamada en çok kullanılan, ekonomik ve ölçeklendirilebilir kontrol problemi ele alınmak istendiğinden DC motor hız kontrol

problemi ve sıcaklık kontrol problemi üzerine deney sistemi kurulmuştur.

1.2 Tezin Amacı

Tez çalışmasında öğrenci etkileşimli kontrol eğitiminin daha etkin yapılabilmesi için eğitim düzeneği ve yazılımı içeren kontrol deney düzeneği tasarımı yapılmıştır. Öğrencilerin meslek hayatında karşılaşacakları problemlerin çözümü deney düzeneği ile göstererek, meslek hayatında karşılaşacakları problemlere en hızlı ve en doğru şekilde çözüm üretmeleri hedeflemektedir. Bu amaç üzerine mühendislik öğrencilerine aşağıdaki becerilerin kazandırılması amaçlanmaktadır.

- Mühendislik, matematik ve fen bilimleri bilgilerini uygulama becerisi kazandırmak.
- Ekonomik, güvenli, çevresel, sürdürülebilir, ihtiyaca yönelik ve gerçekçi kısıtlamalar dâhilinde kontrol sistemi tasarlama becerisi kazandırmak.
- Mühendislik problemlerini tanımlama ve çözüme yeteneği kazandırılmak.
- Mühendislik uygulamaları için klasik ve modern kontrol yöntemlerini kullanma becerisi kazandırmak.
- Araştırmacıların geliştirdikleri metotları, sistem üzerinde deneme, mevcut sonuçlar ile karşılaştırma imkânı sağlamak.
- Düşük bütçeli, güncel teknolojiyle tasarlanmış kontrol sistemi tasarlanması.

Tezin birinci bölümünde tezin amacı hakkında bilgi verilmiş ve literatür taramasına yer verilmiştir. Tezin ikinci bölümünde kullanılan kontrol metotları hakkında temel bilgiler verilmiştir. Tezin üçüncü bölümünde deney sisteminde kullanılan materyaller ve yazılımlar tanıtılmıştır. Tezin dördüncü bölümünde sistem matematiksel karakteristiği belirleme, sistem karakteristiği belirlenemeyen sistemlerin kontrolü konusunda deneysel çalışma yapılmış, ayrıca deney düzeneğinin öğrenciler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Tezin son bölümünde klasik ve modern kontrol algoritmaları karşılaştırılmıştır.

2. TEZDE KULLANILAN KONTROL METOTLARI

2.1 Kontrol Sistem Tanımları

Kontrol sistemleri endüstriyel işletmelerin performansını arttıran en önemli yöntemlerdendir. Örneğin bir petrol rafinerisini tam performanslı çalıştırabilmek için kontrol sistemlerine ihtiyacı vardır. Bunu yaparken programlanabilir mantık denetleyicisi (PLC), dağıtık kontrol sistemleri (DCS) gibi benzer donanımlar kullanır. Bu kontrolörler içerisinde çalışmamızda da bahsedeceğimiz üzere farklı kontrol algoritmalarını arka planda çalıştırmalar.

Bir kontrol sistemi üretilen son ürünün bir parçası da olabilir. Otomotiv sektörüne yönelik olarak elektronik kontrol ünitelerini veya havacılık endüstrilerine yönelik olarak uçuş kontrol ünitelerini örnek verebiliriz.

Kontrol sistemleri günümüzde daha hassas ve zor işlerin kararlarını vermek için kullanılmaktadır. Bunları yaparken klasik metotların yetersiz kaldığı durumlarda modern kontrol metotlarını kullanmaktadır. Gelişmiş ürünlerin ortaya çıkması için modern kontrol metotlarının geliştirilip, nihai ürün haline getirmek için ise analog tasarımlardan yola çıkarak bilgisayar destekli kontrol metotlarını geliştirmek gerekmektedir. Aşağıda kontrol sisteminde bahsedilecek temel tanımlamalar verilmektedir.[5]

Kontrol: Yöneten, karar veren, düzenleyen ya da komut veren anlamına gelmektedir.

Kontrol Sistem: Kendini veya kendinden bağımsız bir sistemi kontrol etmek için düzenlenmiş fiziksel elemanlar topluluğudur.

Girdi: Kontrol sisteminin doğru karar alabilmesi için sistemden gelen verilerdir.

Çıktı: Girdiye göre karar alan kontrol sisteminin, kararın uygulanması için verdiği komutlar veya emirlerdir.

Bozucu Etken: Sistem çıktısının değerine ters etki eden sinyallerdir. Bozucu etken sistem içerisinden üretiliyorsa buna içsel, dışardan üretiliyorsa dışsal bozucu etken denmektedir.

Transfer Fonksiyonu: Kontrol sisteminin çıktısı ile matematiksel modelinin arasındaki ilişkidir. Genellikle Laplace dönüşümü ile ifade edilir. Sistemin sıfır başlangıç

koşulundaki çıktısının, girdisine bölünmesiyle elde edilir.

Bir transfer fonksiyonun girişi elektriksel ve mekanik parametreler içeriyorsa sistem motor olabilir. Bu durumda giriş gerilim, sistemin çıktısı açısal hız olacaktır. Fizik denklemleri kullanılarak sistemin transfer fonksiyonu üretilebilir ya da sistemin bilgisayar tarafından otomatik tahmin etmesini sağlayabiliriz. [6-7]

2.2 Kontrol Sistemlerinin Türleri

Kontrol sistemi uygulama alanlarına göre farklı türleri vardır. Bu tezde girdi çıktı duruma göre ve geri besleme durumuna göre kontrol sistem türleri ele alınacaktır.

2.2.1 Girdi Ve Çıktıya Göre Kontrol Sistem Türleri:

Kontrol sistemi girdi ve çıktı sayısına göre türlere ayrılmaktadır. Tek girdi ve tek çıktılı sistemlere, tek girdili tek çıktılı sistemler (SISO) denmektedir. SISO sistemlere tek enkoderden gelen girdiye göre tek motoru kontrol eden sistemler örnek verilebilir. Çok girdili ve tek çıkışlı sistemlere, çok girdili tek çıktılı sistemler (MISO) denmektedir. MISO sistemlere akım algılayıcısından ve enkoder verisinden gelen bilgiye göre motoru kontrol eden sistemler örnek verilebilir. Son olarak çok girdili ve çok çıktılı sistemlere, çok girdili ve çok çıktılı sistemler (MIMO) denmektedir. Bu kontrol sistemleri, MISO' dan farklı olarak sensörden gelen veriye göre birden fazla eyleyiciyi kontrol eden sistemlerdir.

2.2.2 Geri Beslemeye Göre Kontrol Sistem Türleri:

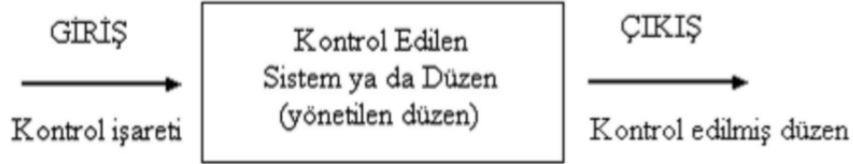
Sistemlerin çalışmasına göre iki tip kontrol sistemi vardır.

- Açık çevrim kontrol sistemi
- Kapalı çevrim kontrol sistemi

2.2.2.1 Açık Çevrim Kontrol Sistemi:

Çıktının, kontrol işleminde hiçbir etkisinin olmadığı kontrol sistemlerine açık çevrim kontrol sistemi denmektedir. Açık çevrim kontrol sisteminde sistem durumunun

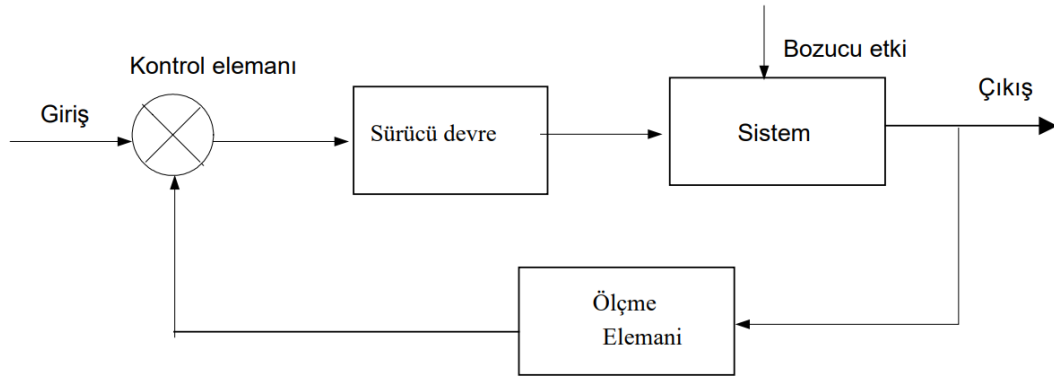
belirlenebilmesi için algılayıcıya ihtiyaç duyulmamaktadır. Önceden tanımlı değerlere göre kontrol sistem komutları gönderilmektedir. Bozucu etkinin etkisi göz ardı edilmektedir ve gönderilen komutlara göre sistemin düzgün çalıştığı varsayılmaktadır. Açık çevrim kontrol sistemlerine bulaşık makinalarını örnek verebiliriz. Yıkama sonucunda çıkan bulaşıkların temiz olup olmadığı sistem tarafından kontrol edilemez.



Şekil 2.1: Açık Çevrim Kontrol Sistemi Blok Diyagramı

2.2.2.2 Kapalı Çevrim Kontrol Sistemi:

Çıktının, kontrol işleminde doğrudan etkisinin olduğu kontrol sistemlere kapalı çevrim kontrol sistemi denmektedir. Kontrol sistemi referans değeriyle algılayıcıdan aldığı değerleri karşılaştırarak, değer sonucuna göre yeni kontrol işareti üretmektedir. Sistemde bozucu etken var ise kontrol sistemi tarafından algılanıp, bozucu etkenin yok edilmesi için gerekli kontrol işaretini gönderir. Kapalı çevrim kontrol sistemlerine ısıtma sistemlerini örnek verilebiliriz. Oda içindeki algılayıcı sayesinde sistem istenilen değerde sabit olarak tutulmaktadır. Eğer bozucu etmen olarak cam açılırsa sistemdeki değişmeyi kontrol sistemi algılayıp sistemin düzgün çalışması için yeni kontrol işareti gönderecektir.

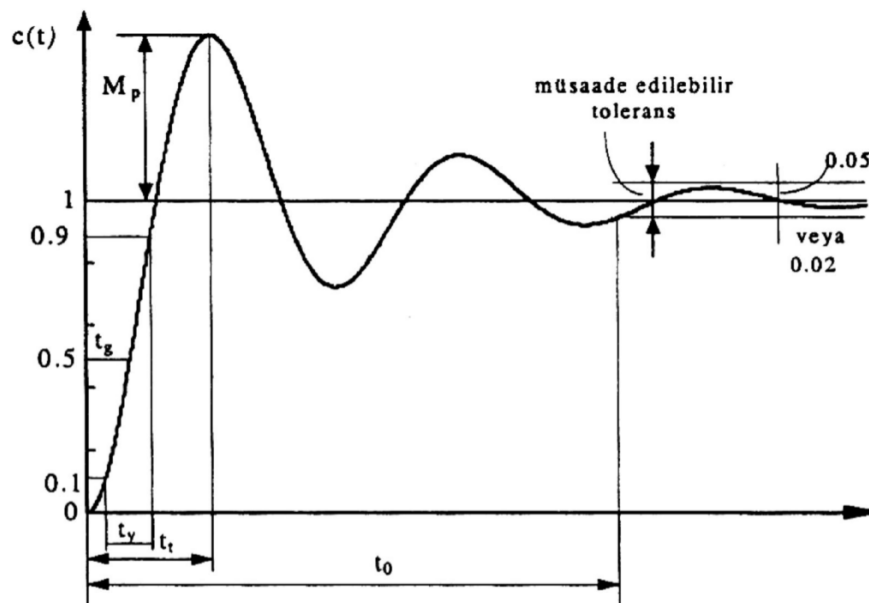


Şekil 2.2: Kapalı Çevrim Kontrol Sistemi

2.3 Otomatik Kontrolörler:

Kontrolör, donanının girdisine göre istenilen çıktı ile o andaki çıktıyı karşılaştırarak aradaki sapmayı belirler. Sapmayı sıfırlayacak kontrol sinyali üretme biçimine, kontrol eylemi denmektedir. Kontrolör sistem kontrol kararını verirken kontrol metotlarını kullanmaktadır. Bunlar Klasik ve Modern kontrol metotlarıdır. Çalışmamızda bu metotları inceleyeceğiz. [7]

Doğrusal bir sistemin birim basamak cevabı şekil 2.3’ de verilmiştir.



Şekil 2.3: Doğrusal Bir Sistemin Birim Basamak Grafiği

Şekil 2.3’ de gösterilen geri beslemeli otomatik kontrol ile ilgili parametrelerin genel tanımlamalarını kısaca inceleyecek olursak:

- **Gecikme Zamanı(t_g):** Referans değerinin yarısına ilk defa ulaşması için geçen süredir.
- **Yükselme Zamanı (t_y):** Referans değerinin %10' dan %90' a, %5' den %95' ine ya da %0' dan %100' üne ulaşması için geçen süredir. T_y süresi seçilirken sistemin sönüm miktarına bakılmalıdır. Sistem sönümlü değil ise yükselme zamanını %10-%90 aralığında seçebiliriz. Sistem aşırı sönümlüyse %0 - %100 arasında geçen süreyi almak daha uygun olacaktır.

- **Maksimum Aşma (m_p):** Referans değerden, tepe noktasına kadar ki genlik aşma ile tanımlanmaktadır. Maksimum aşma ise referans değerinden en büyük tepe arasındaki genliğin miktarını ifade etmektedir. Aşma miktarı sistemin kararlılığını etkilemektedir. Birinci dereceden sistemlerde hiçbir zaman aşma olmayacağından M_p değeri sıfır olarak tanımlanmaktadır.
- **Oturma Zamanı (t_o):** Sistem cevap eğrisindeki titreşimlerin, tolerans değeri arasına oturması için geçen süredir. Tolerans değeri genelde %5 veya %3 kabul edilmektedir. Birinci dereceden kontrol sistemlerinde oturma zamanı yükselme zamanına eşittir.

Tanımlanan değerler sistemlere göre farklılık gösterebilir. Yukardaki değerler bilindiğinde sistem cevap eğrisi çizilebilir. Sistemin cevap eğrisi çizilirken sistemin özelliklerine göre yukarıdaki bütün durumlara ihtiyaç yoktur. Örneğin aşırı sönümlü birinci dereceden diferansiyel denklem ile ifade edilen sistemler için yükselme zamanı ile maksimum aşma süresi aynı olduğundan iki değer birbiri yerine kullanılabilir.

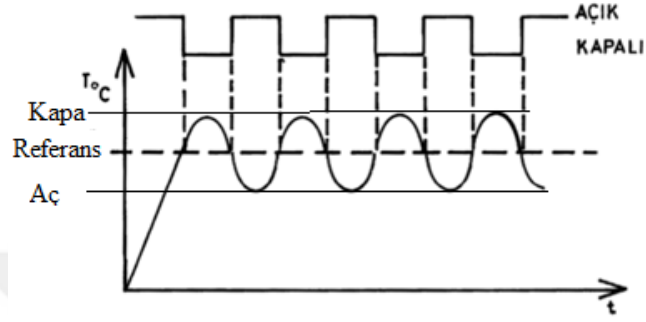
2.4 Klasik Kontrol Metotları

Klasik kontrol yöntemlerinde en sık kullanılan iki yöntem vardır. Bunlar deneme yanılma yöntemi diğeri ise aç kapa yöntemidir. Klasik kontrol yönteminde referans değerine göre geri bildirim algılayıcısından gelen veriler karşılaştırılarak hata bulunur. Hatayı sıfırlamak için sisteme uygulanacak PID katsayılarını model olmadan, deneme yanılma yöntemiyle bulunması kullanılan en popüler klasik yöntemdir. Bu yöntem endüstride sıklıkla kullanılmaktadır. Aşağıdaki çalışmada el ile katsayı atayarak sistemin davranışı gözlenmiş ve verilen değerlere göre sistemin tepkisinin nasıl değiştiği gözlemlenmiştir. [6]

2.4.1 Aç/Kapa kontrol:

En basit ve işlevsel kontrol metodu olan aç kapa kontrol, sistem çıkışını ya tamamen açarak ya da tamamen kapayarak kontrol işlemini gerçekleştirir. Basit ve kontrolü kolay olduğundan çoğu alanda sıklıkla kullanılmaktadır.

$$\begin{aligned}
e(t) &= y(t) - r(t) \\
e(t) &< 0; u = max \\
e(t) &\geq 0; u = 0
\end{aligned}
\tag{2.1}$$



Şekil 2.4: Aç / Kapa Kontrol Cevap Grafiği

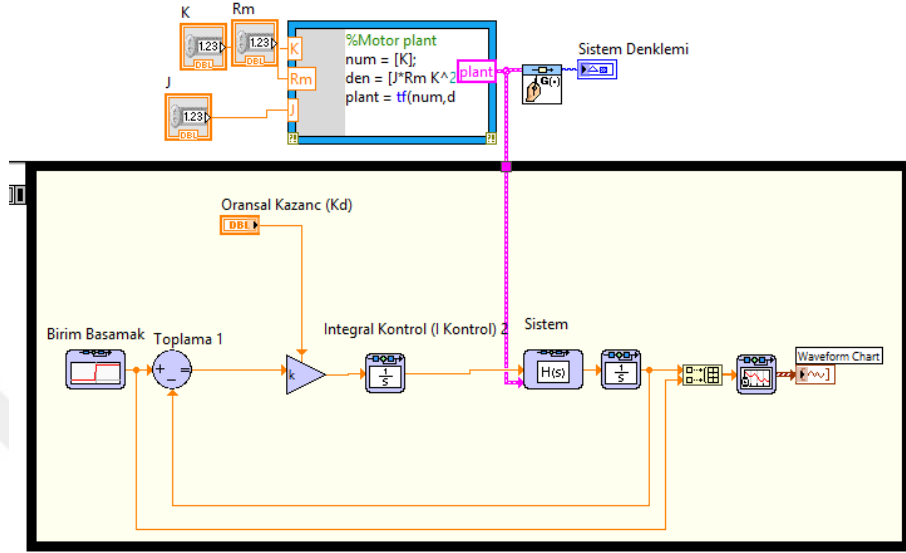
Günlük hayatta en sık görebileceğimiz aç/kapa kontrol örneği elektrikli ısıtıcılardır. Elektrikli ısıtıcılar istenilen sıcaklığa kadar çalışır, sıcaklık termostat ile algılanarak uygun sıcaklığa geldiğinde sistemi kapatır.

Aç kapa kontrolde referans değerinin çevresinde sürekli açıp kapayacağından sürücü elemanı kısa zaman içinde deforme olmaması için belirli bir hata değeri ile çalıştırılır. Örneğin; ısıtıcının sıcaklığı 20° C dereceye ayarlanıp %5 hata miktarıyla çalışan ısıtıcı 21° C dereceye kadar çalışır ve 21° C dereceye ulaştığında kapanır. Ortam sıcaklığı 19° C dereceye düşene kadar kapalı kalır. 19° C derecenin altına düştüğünde ısıtıcı tekrar çalıştırılır. Ufak değişimlerin önemsiz olduğu kontrol sistemlerinde aç/kapa kontrol sıklıkla tercih edilir.

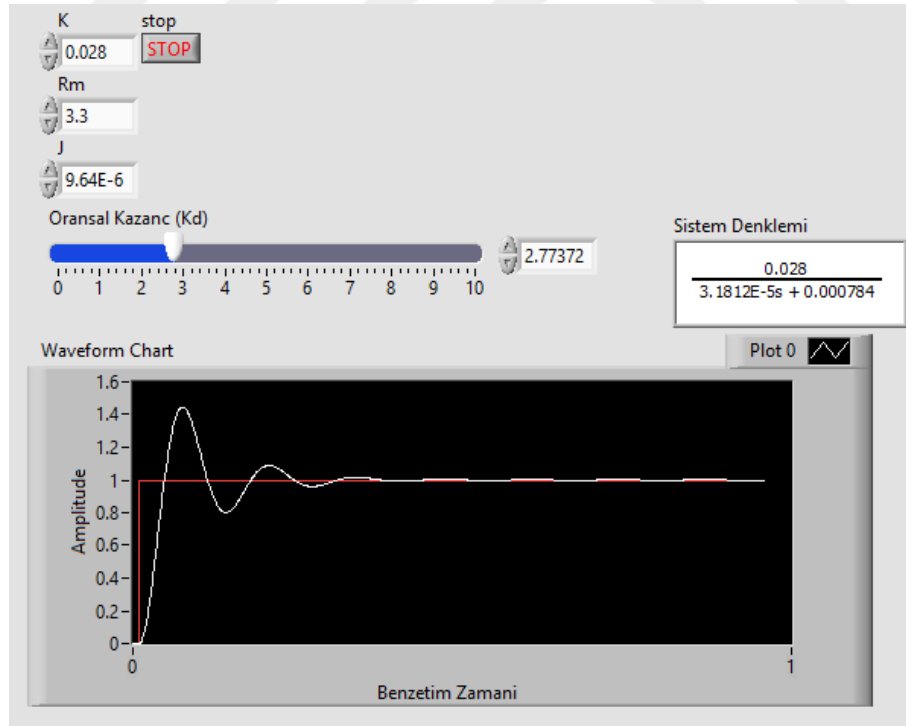
2.4.2 Oransal kontrol (P kontrol):

Endüstride “Proportion” kelimesinin kısaltılması olarak P kontrol olarak geçmektedir. Sistem referans değerinden (r), sistemden alınan geri beslemenin çıkarılması ile hata miktarı (e) çıkarılmaktadır. Sistem hatasını düşürmek için hata, oransal kontrol (Kp) ile çarpılarak sürücüye yeni kontrol sinyali (ut) iletilmektedir. Böyle kontrol sistemlerine oransal kontrol ya da P kontrol denmektedir.

Sistem yapısı basittir. Bir yükseltici devresiyle kontrol devresi kurulabilir. İyi tasarlanmış P kontrol sistemi yükselme zamanını düşürmesine karşın sistemde kalıcı hal hatası oluşur.



Şekil 2.5: P Kontrol Blok Diyagramı

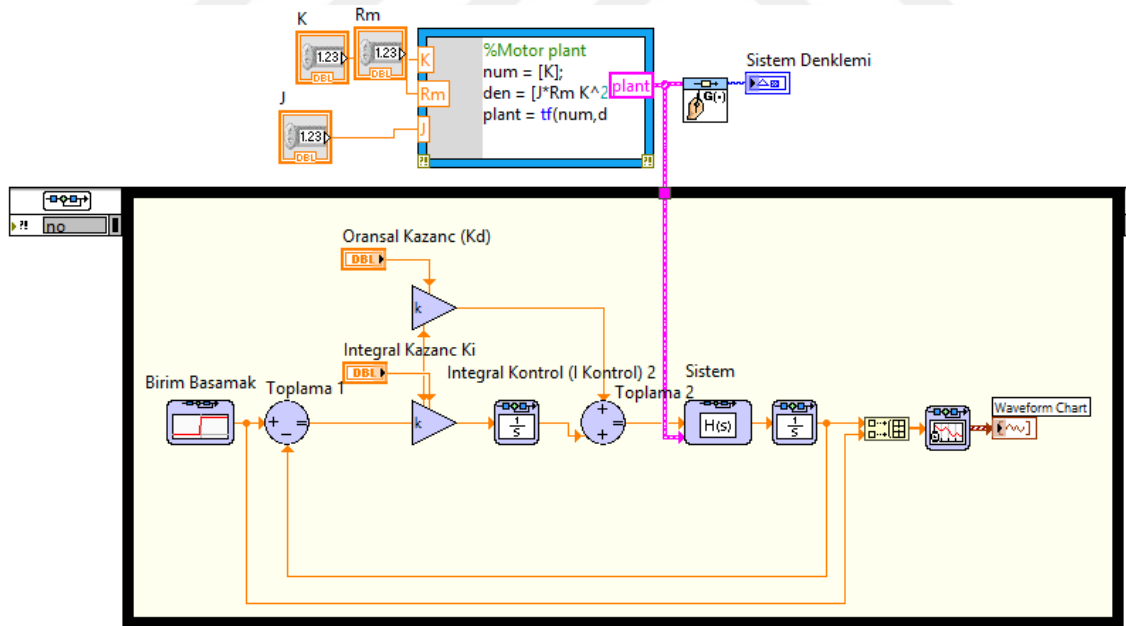


Şekil 2.6: P Kontrol Reaksiyon Eğrisi

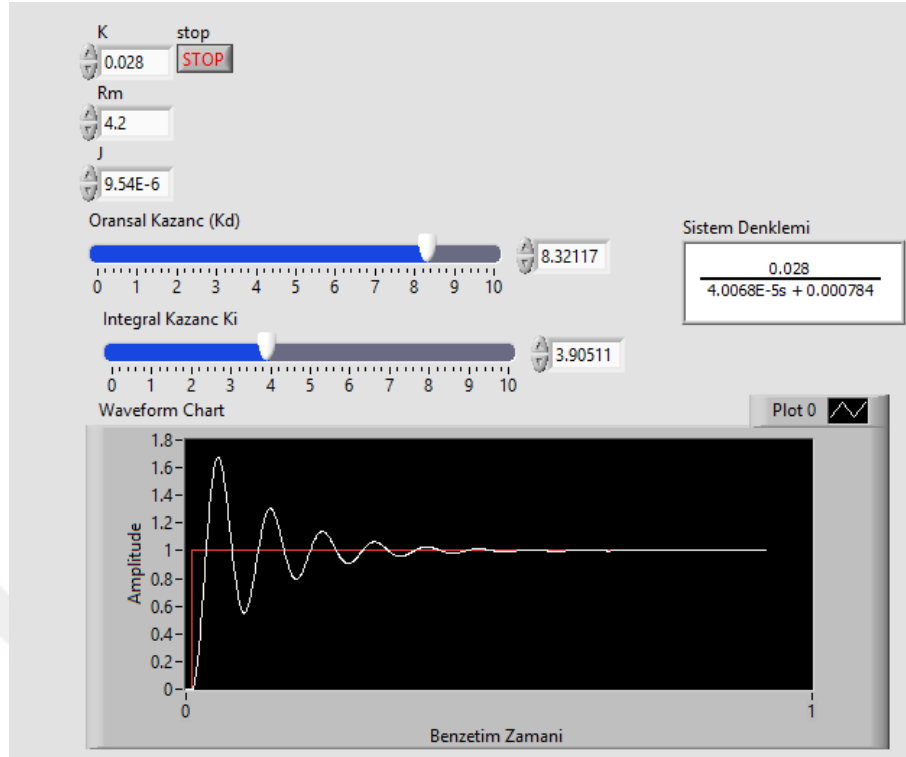
2.4.3 Oransal integral kontrol (PI kontrol):

Oransal ve İntegral kontrol endüstride “Proportion Integration” kelimelerinin kısaltılması olarak PI kontrol olarak geçmektedir. PI kontrol sistemin kalıcı hal hatasını azaltmaya çalışmaktadır. İntegral kontrol etkisinin etkisi oransal kontrol etkisi ile beraber kullanıldığında daha etkin bir biçimde belirgin olur. İntegral etkisi kontrolcünün devreye girmesinden belirli bir süre sonra etkin hale gelmekteydi. Yine oransal kontrol etkisinin hata küçüldükçe zayıfladığı bilindiğine göre bu iki etkinin tamamlayıcı olarak kullanılabileceği kolaylıkla öngörülebilir. [8]

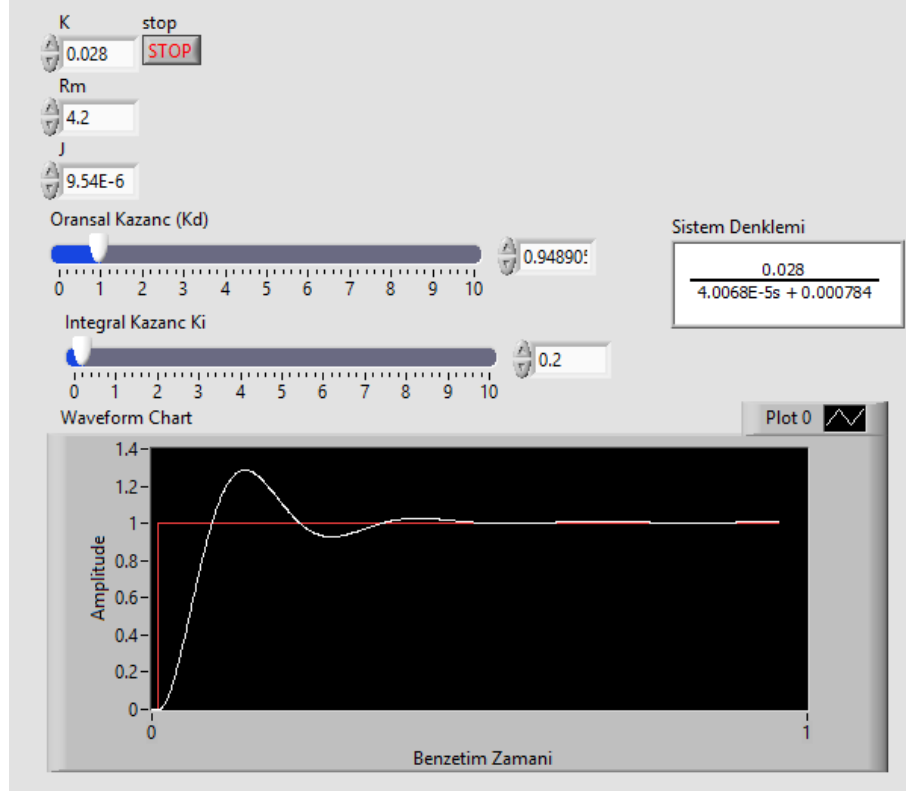
$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (2.2)$$



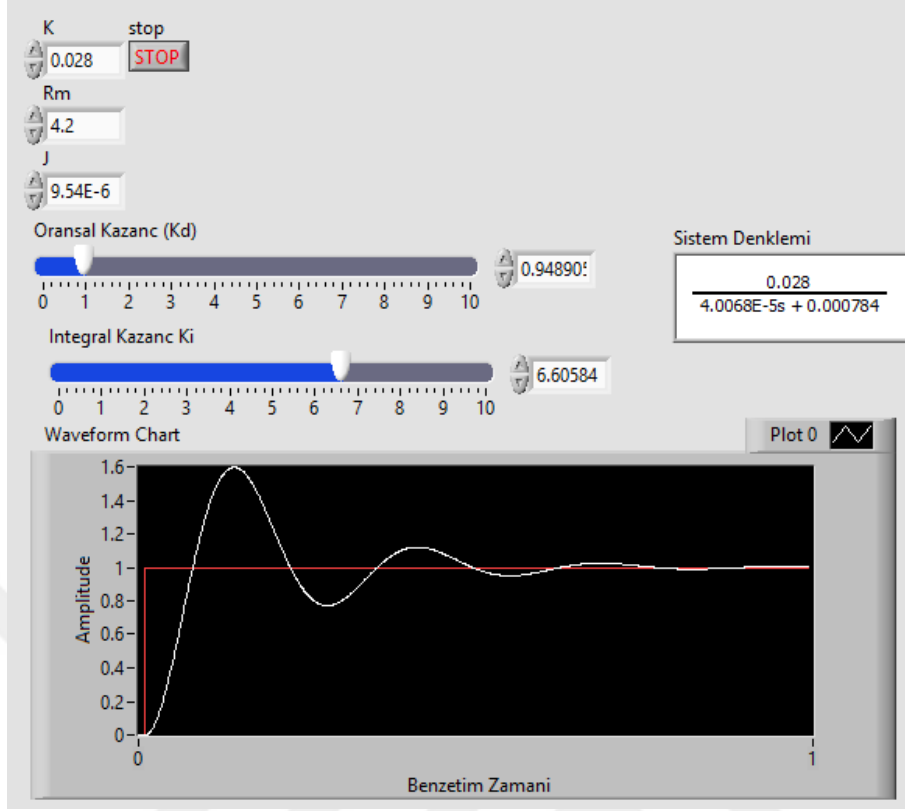
Şekil 2.7: PI Kontrol Blok Diyagramı



Şekil 2.8: PI Kontrol Reaksiyon Eğrisi



Şekil 2.9: Ki Küçük PI Kontrol Reaksiyon Eğrisi



Şekil 2.10: Ki Büyük PI Kontrol Reaksiyon Eğrisi

İntegral kazancının (K_i), integral zaman sabiti (T_i) ile ters orantılı ilişki vardır. $K_i = 1/T_i$ olarak bilinir. Aşağıdaki şekilde birim basamağa karşı sistemin çıkışı yer almaktadır. Şekilde görüldüğü üzere K_i değeri büyük seçildiğinde, sistemin dengeye gelmesi kısa sürmektedir. K_i küçük seçildiğinde sistemin oturma zamanı artmaktadır.

2.4.4 İntegral kontrol (I Kontrol):

İntegral kontrol tek başına kullanıldığında sistemin kalıcı hal hatasını azaltmasına karşın, sistemin oturma zamanına olumsuz etki etmektedir. Bu nedenden dolayı P kontrol ile birlikte kullanılmaktadır.

2.4.5 Oransal Türevsel Kontrol (PD Kontrol):

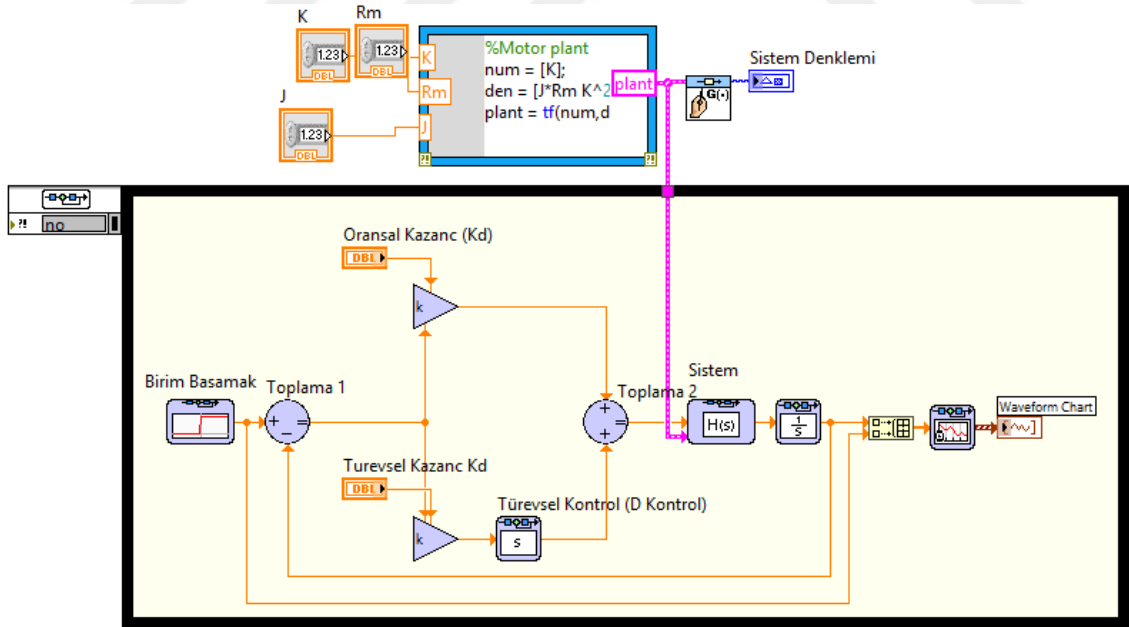
Orantı ve türev kontrol endüstride “Proportion, Integration ve Derivatif” kelimelerinin kısaltılması olarak PD kontrol olarak geçmektedir. Türev etkisi hatayı önceden kestirerek hata oluşumunu engeller. Türevsel kontrolün bu geçici rejim sırasında oluşan salınımları

azaltma etkisi oransal kontrolün sebep olduğu aşma değerindeki artışı azaltacaktır. Bu sebep ile oransal kontrolün türevsel kontrol etkisi ile beraber kullanımı göreceli olarak daha iyi bir kontrolcü yapısı oluşturur.

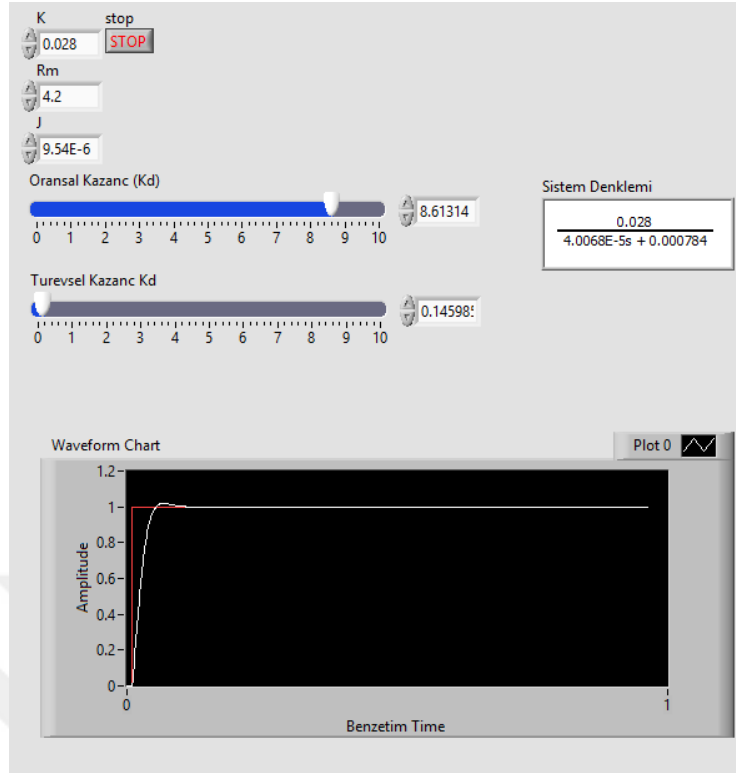
Hatanın sıfır olduğu durumlarda türev kontrol etkisi sıfır olacaktır. Türev etkisi sadece hata olduğu durumlarda kullanıldığından tek başına kullanılmaz. Genelde oransal kontrol veya oransal integral kontrol ile birlikte kullanılır.

$$u(t) = K_p e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.3)$$

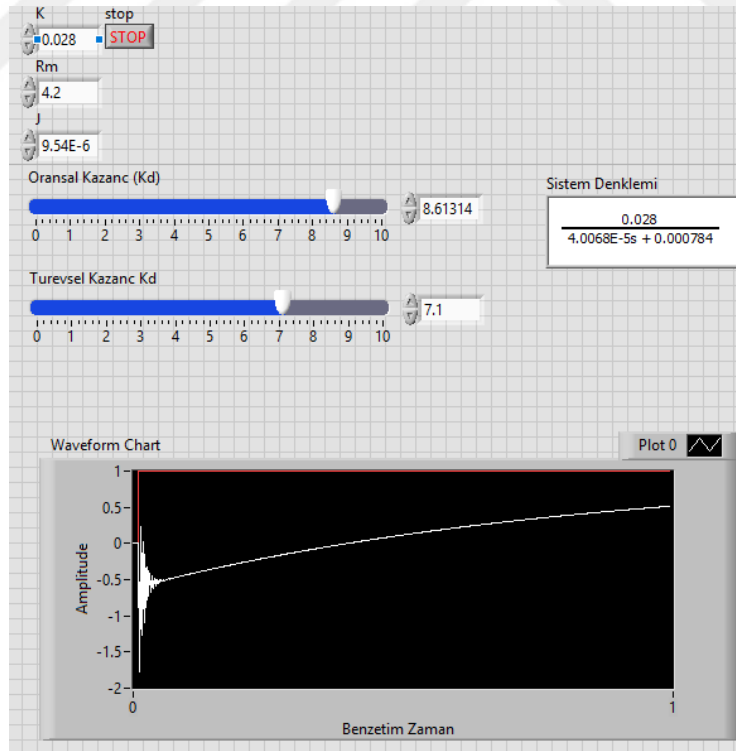
Oransal kontrol, hatanın değişimlerine hızlı tepki verebilmesine karşın hatadaki değişimlere tepkisiz kalmaktadır. Hata miktarını düşürmek için türev kontrol ile birlikte kullanmak olacaktır. Şekilde sistemin birim girişe karşı türev etkisinin cevabı yer almaktadır. Görüldüğü üzere K_d değeri uygun büyüklükte seçildiğinde sistem daha hızlı oturmaktadır.



Şekil 2.11: PD Kontrol Blok Diyagramı



Şekil 2.12: Kd Küçük PD Kontrol Reaksiyon Eğrisi



Şekil 2.13: Kd Büyük PD Kontrol Reaksiyon Eğrisi

2.4.6 Oransal, integral ve türev kontrol (PID kontrol):

Orantı, integral ve türev kontrol endüstride “Proportion, Integration ve Derivatif” kelimelerinin kısaltılması olarak PID kontrol olarak geçmektedir. PID kontrol bahsettiğimiz bütün kontrollerin eksiklerini tamamlayan kontrol biçimidir.[9]

Tablo 2.1: Denetleyicilerin Rejime Etkisi

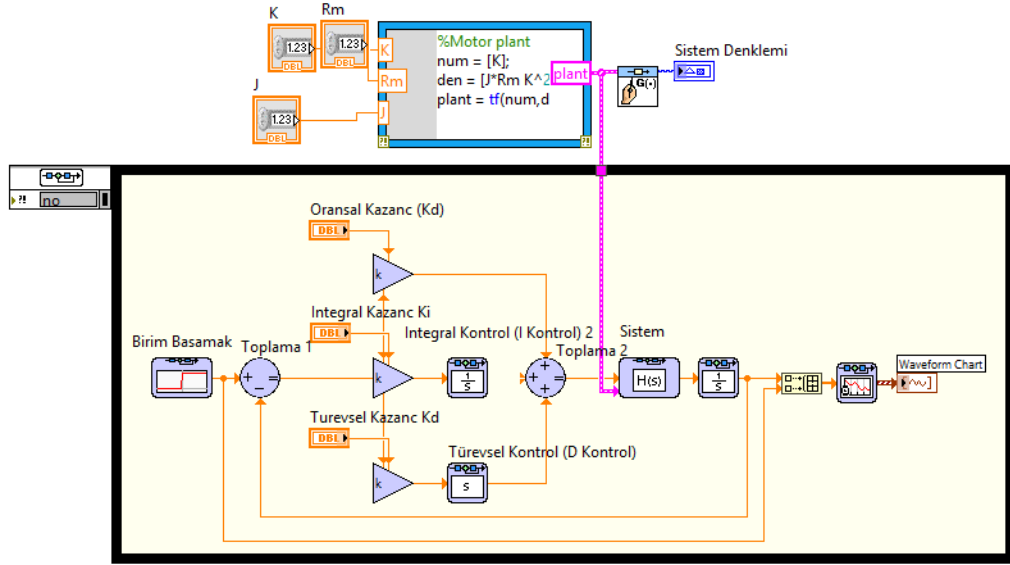
Kapalı Çevrim Cevabı	Yükselme Zamanı	Aşma Değeri	Düzenli Rejim Zamanı	Düzenli Rejim Hatası
Kp	Azalı	Artar	Küçük değişim	Azalı
Ki	Azalı	Artar	Artar	Kalmaz
Kd	Küçük değişim	Azalı	Azalı	Küçük değişim

Oransal denetleyici (Kp) cevap hızını artırırken kalıcı durum hatası yaratır. İntegral denetleyici (Ki) oransal denetleyicinin kalıcı durum hatasını sıfırlar. Fakat integral denetleyici sistemin dengeye gelme süresini uzatır. Türevsel denetleyicinin (Kd) ise integral denetleyicinin çıkardığı yavaşlığı sıfırlar.

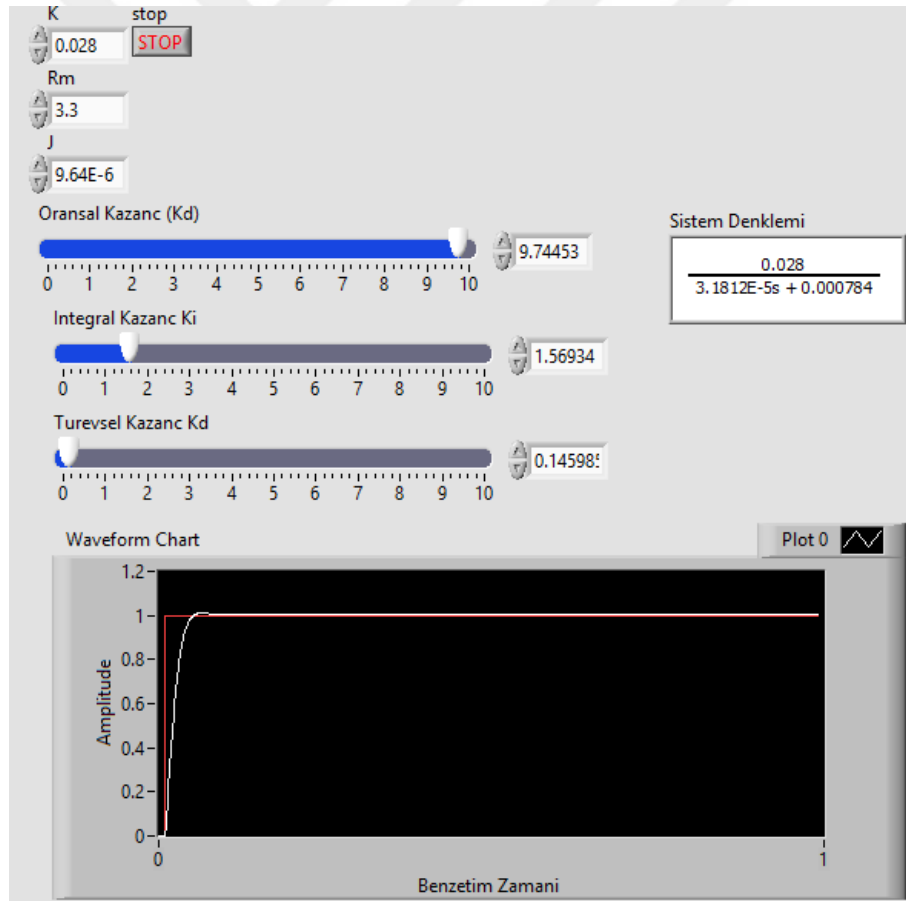
PID kontrolde hepsi bir arada kullanıldığından hızlı ve aynı kararlılıkta bir sistem ortaya çıkmaktadır.

PID kontrol, sistemin dinamiğine göre en basit şekilde kullanılmalıdır.

$$u(t) = K[e(t) + T_i \int_0^t e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt}] \quad (2.4)$$



Şekil 2.14: PID Blok Diagramı



Şekil 2.15: PID Kontrol Reaksiyon Eğrisi

2.5 Modern Kontrol Metotları

Karmaşık kontrol sistemlerinin tasarımı söz konusu olduğunda ilk akla gelen yaklaşım modern kontrol yöntemleridir. Modern kontrol yönteminde sistem transfer fonksiyonu bilinen veya çıkartılabilen sistemlerde, sistem hatasını sıfırlayacak kontrol sisteminin parametrelerini; zaman alanı analiz ve tasarımı yöntemiyle tespit edip, PID üzerine uygulamaya dayanmaktadır [7] Bu çalışmada zaman alanı analiz ve tasarımı yöntemi ve harmonik denetim diziler yöntemiyle ayrık zaman kontrolü ele alınarak modern kontrol örneklerine değinilmiştir.

2.5.1 Zaman Alanı Yöntemiyle Kontrol Sistemi Tasarımı

Kontrol sistem tasarımında en çok kullanılan modern kontrol yöntemlerinden bir tanesi zaman alanı analiz yöntemidir. Transfer fonksiyonu çıkartılmış kapalı çevrim kontrol sistemi, geçici yanıt analizi ve kök yer analizi yöntemleriyle kontrol parametreleri bulunarak bulunan parametreler sisteme uyarlanır. Bu yöntemde çıkartılan parametreler dışardan sisteme müdahale eden etkileri içermediğinden ötürü yaklaşık kontrol parametreleri olmaktadır. Çalışmada zaman analizi yöntemiyle bulunan kontrol parametrelerini sistem üzerindeki etkilerini içeren deney yapılmıştır.

2.5.2 Harmonik Denetim Dizileri Yöntemiyle Ayrık Zaman Kontrolü:

Harmonik Denetim Dizileri, tekrar eden referanslı veya/ve bozunumlu sistemlerde hata işaretini en aza indirmek için denetim (kontrol) işaretinin Fourier serisi açılımı bileşenlerini (yani harmonik bileşenlerini) düzenleme yoluyla çalışan bir yöntemdir. Harmonik denetim dizileri yöntemi üç aşamadan oluşmaktadır: Harmonik Dağıtıcı adı verilen ilk aşamada, hata (girdi) işareti daha önce belirlenen bir sayıdaki harmonik bileşenlerine dönüştürülür ve bu aşama bittikten sonra hata işaretinin harmonik bileşenlerinden oluşan bir vektör elde edilir. İkinci aşamada, istenilen bir denetim yöntemi her bir harmonik bileşene ayrı ayrı uygulanır ve denetim işaretinin harmonik bileşenlerinden oluşan bir vektör hesaplanır. Harmonik Toparlayıcı adı verilen son aşamada ise, denetim işaretinin harmonik bileşenleri vektörü yekpare bir denetim

işareti oluşturacak şekilde bir araya getirilir (yani ters d6n6ř6m uygulanır). Denetim hesaplarından sonra, denetim işareti tesise/y6ke uygun bir şekilde uygulanır.[10]



3. MATERİYAL VE YÖNTEM

Tez çalışmasında kullanılan temel yazılım ve donanımlar endüstride kullanılan ve kolaylıkla bulunan ürünlerden oluşmaktadır. Bı bölümde kullanılan yazılım ve donanım ekipmanları hakkında bilgi verilecektir.

3.1 Kullanılan Yazılımlar:

Bu tez çalışmasında tasarlanmış olan kontrol deney düzeneğinde akademik ve endüstriyel çalışmalarda sıklıkla kullanılan LabVIEW benzetim programı ve Arduino IDE yazılımı kullanılmaktadır.

3.1.1 Arduino IDE yazılımı

Arduino IDE yazılımı kullanıcıya açık kaynak olarak sunulan ücretsiz bir derleyicidir. Yazılım ilk çıktığında ATmega8 işlemcisini desteklemekteydi. Kullanım kolaylığından dolayı geliştiriciler birçok mikroişlemciye uygun hale getirdi. Günümüzde birçok geliştirme kartlarına destek sağlamaktadır. Programa kendi C tabanlı üst seviye diliyle kod yazılabileceği gibi, alt seviye C dili ile de kod yazılmasına izin vermektedir. [11]



Şekil 3.1: Arduino IDE Yazılımı

3.1.2 LabVIEW yazılımı

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), National Instruments firması tarafından geliştirilmiştir. Grafik tabanlı yazılım geliştirme ortamı olmasından ötürü yazılım geliştiriciler tarafından kolaylıkla öğrenilip kullanılmaya başlanmıştır. LabVIEW sistem kontrolü ve ölçme uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır.[9].

Bu uygulamaların arka planında veri toplama ve veri işleme olarak tanımlanan bir akış bulunmaktadır. Fiziksel değişimler sensorler tarafından algılanarak analog veya sayısal sinyallere dönüştürülür. Bu sinyallerin veri toplama donanımları sayesinde bilgisayara aktarılması sürecine veri toplama denmektedir. Veri işleme ise toplanan sinyallerin analiz ve mantıklı hale gelmesi için geliştirilen yöntemlerin bütünüdür. [9].

LabVIEW grafik tabanlı yazılım geliştirme ortamı olmasından dolayı hızlı ve kolay şekilde yazılım geliştirmeye imkân sunmaktadır. Veri toplama ve toplanan verilerin işleme aşamalarında LabVIEW yazılımı eğitim ve ticari kurumlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. LabVIEW'in ilkokulda okuyan öğrencilerden, araştırma merkezinde çalışan mühendisler kadar geniş hedef kitlesi bulunmaktadır.

LabVIEW'in ilk sürümü 1986 yılında laboratuvar ölçme cihazlarını kontrol etmek için geliştirilmiştir. Her yıl National Instruments tarafından güncellenerek yeni sürümleri geliştirilmeye devam etmektedir.

Grafiksel programlamanın özelliğinin avantajı ve dezavantajı vardır. Avantajlarından en belirginini program geliştirme süresinin yazı – tabanlı yazılım ortamlarına kıyasla daha kısa olmasıdır [9]. Buna ek olarak oluşturulan yazılımın çalışmasında bir problem meydana geldiğinde gerekli uyarıların ve çözüm yöntemlerinin program tarafından otomatik oluşturulması ve geliştirilen yazılımda değişiklik yapmak gerektiğinde, LabVIEW oluşturulan programı geliştirmeye imkân sağlamaktadır [9].

Programın dezavantajları ise; yüksek seviyeli bir dil olmasına rağmen düşük seviyeli yazılım dillerine göre yavaş yanıt vermektedir. Bütün toolkit'leri (kullanıcı araçları) sadece Windows işletim sisteminde çalışmaktadır.

Programın avantaj ve dezavantajlarına göre değerlendirmek gerekirse, programın avantajlarının daha ağır bastığı gözlemlenebilmektedir. Bu yüzden yüksek teknoloji üreten birçok kurum bu programı kullanmaktadır.

3.1.3 LabVIEW'e Genel Bakış

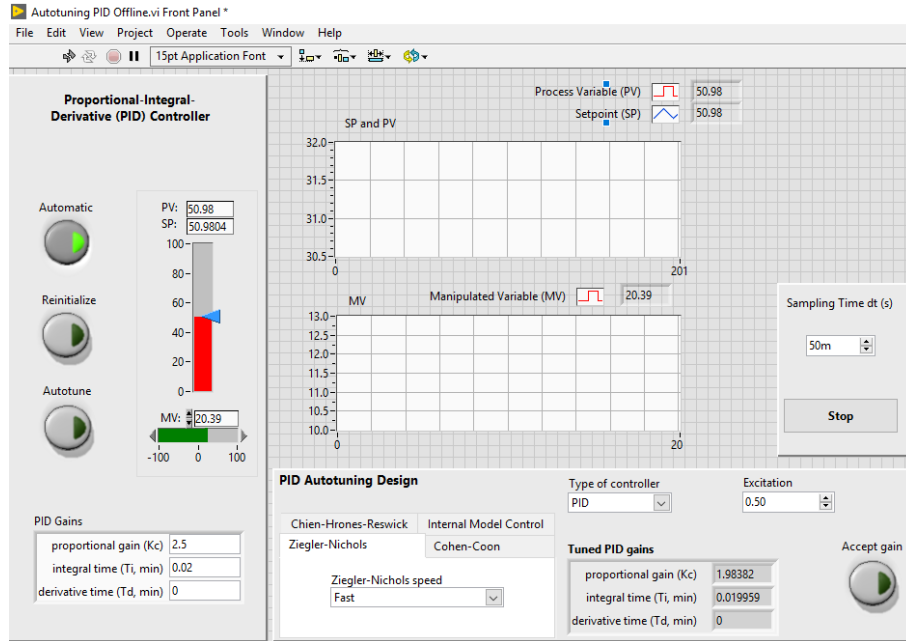
LabVIEW temel olarak 3 kısımdan oluşmaktadır.

- Programın ara yüzünün yapıldığı Front panel,
- Programın çalışmasının tasarlandığı block diagram
- Program girdi ve çıktıların tanımlandığı icon and connector pane

Ayrıca önceden hazırlanmış toolkit isimli fonksiyonlar bulunur.

3.1.3.1 Front Panel:

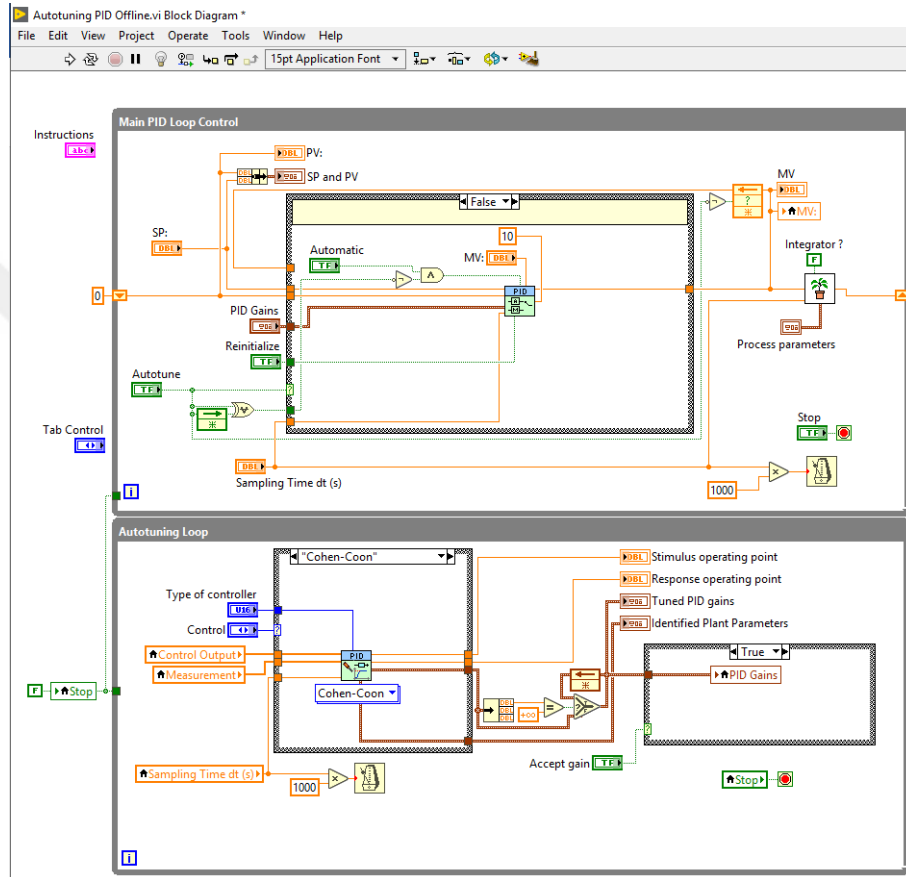
Program ve kullanıcısının en çok karşılaşacağı bölümdür. Bu kısımda program girdilerini önceden tanımlı kontrol nesneleriyle, program çıktılarını tanımlı göstergelerle göstermemize imkân sunmaktadır. Şekil 3.2'de front panelin görseline yer verilmiştir.



Şekil 3.2: LabVIEW Front Panel – Kullanıcı Arayüzü

3.1.3.2 Block Diagram:

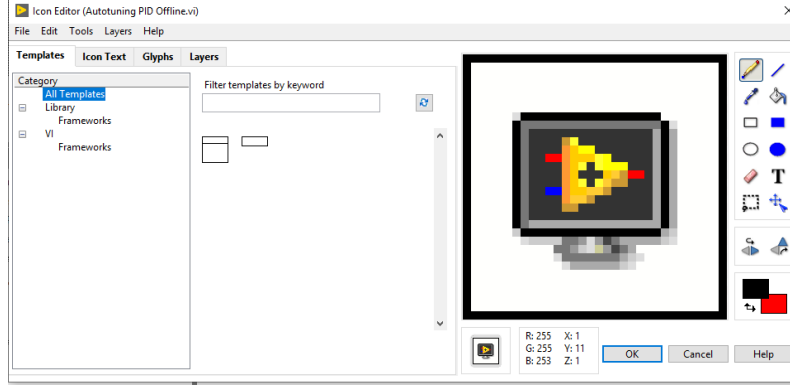
Program geliştiricisinin uygulayacağı yöntemleri koşturacağı bölümdür. Programcı sistem girdilerini alıp, oluşturacağı program senaryosuna göre program çıktısı üretebilir. Program çıktılarına göre sadece Front paneldeki göstergeler ile kullanıcıya sunabileceği gibi program çıktısına göre bir eyleyici de kontrol edebilmektedir.



Şekil 3.3: LabVIEW Block Diyagramı – Kodlama Arayüzü

3.1.3.3 Icon Connector Panel:

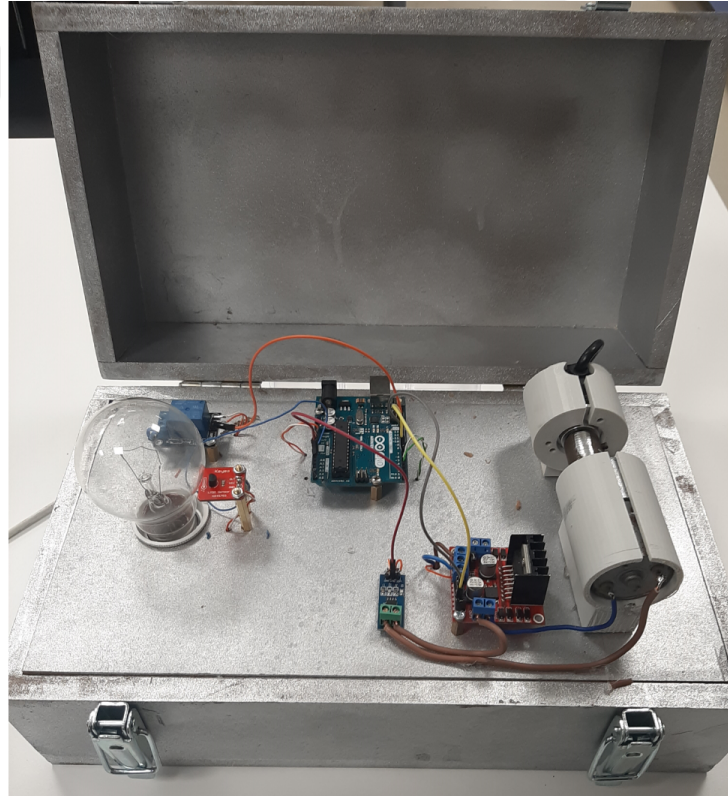
LabVIEW programında tekrarlanan komut dizisini alt program haline getirmektir. Programlamanın hızını arttırmakta ve ölçeklenebilirliğine katkı sağlamaktadır. Oluşturulan alt programlara subVI (Sub Virtual Instruments) denmektedir. Oluşturulan subVI' ların ana programda tanınması için uygun görsel (icon) seçilmelidir. Bu sayede subVI' ın içine girmeden altta dönen komut bütününde ne olduğu anlaşılabilmektedir. Şekil 3.4'de icon connector' ın görseline yer verilmiştir.



Şekil 3.4: Icon Connector Pane

3.2 Deney Düzeneği Tasarımı

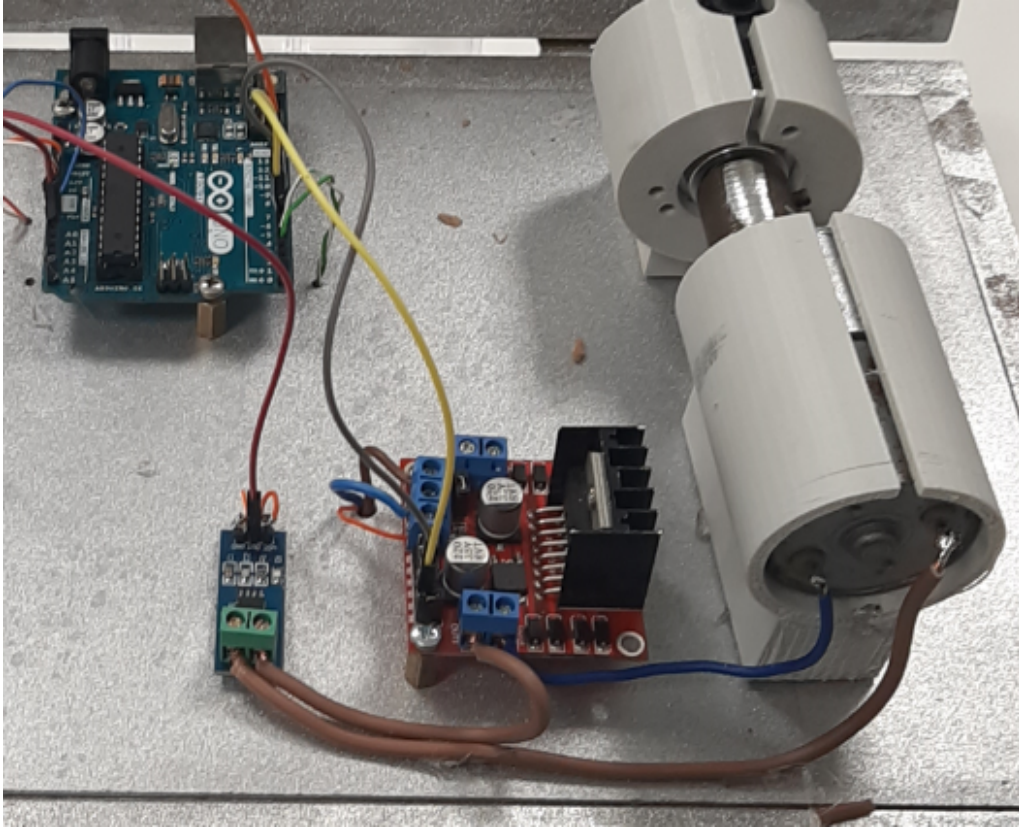
Deney düzeneğinde en çok karşılaşılan problemlerden olan sıcaklık kontrol ve motor kontrol üzerine değinilmiştir. Deney sisteminin tek platformu üzerinde, farklı problemleri farklı sürücülerle sayısal kontrol yapmaya imkan sağlamaktadır. Kurulan deney sisteminin görseli şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.5: Kurulan Deney Düzeneği

3.2.1 DC Motor Deney Düzenğinde Kullanılan Materyaller

DC motor (doğru akım motoru) deney düzeneği bir adet 30:1 redüktörlü DC motorun miline kaplin yardımı ile artırımsal enkoder bağlanmasıyla oluşturulmuştur. Sistemde bulunan motorlar eyleyici, artırımsal enkoder ise algılayıcı olarak kullanılmıştır. Motorların titreşimini azaltmak amacı ile motorlar zemine 3 boyutlu yazıcıyla yazdırılan ayaklarla sabitlenmiştir. Oluşturulan deney sisteminin görseli şekil 3.6’ da gösterilmiştir.

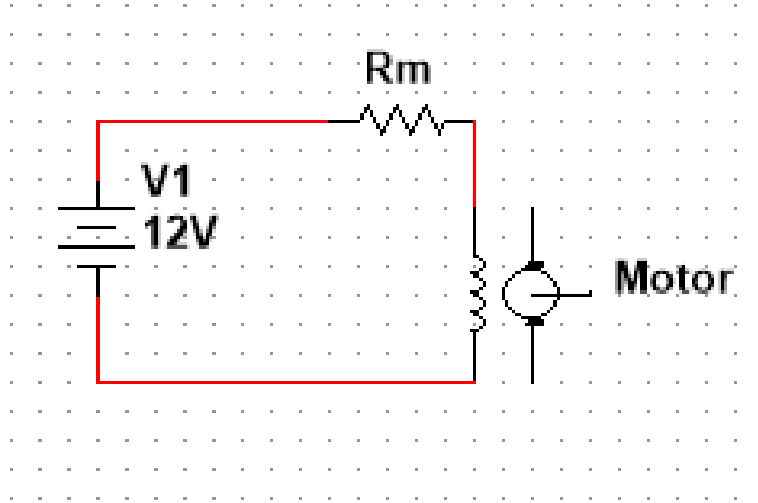


Şekil 3.6: Tasarlanan DC Motor Deney Düzeneği

3.2.1.1 Doğru Akım Motoru (DC Motor)

Doğru akım motoru, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren elektrik makinesidir. Günümüzde direct current kelimesinin kısaltılması ile DC olarak tanımlanmaktadır. Motor içerisindeki stator sargılarına akım verilerek, elektro mıknatıs olma özelliği gösterilir. Akımın girdiği nokta N, akımın çıktığı nokta ise S kutbu olur. Fizikten bilindiği üzere aynı kutuplar birbirini çeker farklı kutuplar ise birbirlerini iterler. DC motorlar bu manyetik itme ve çekme özelliğini kullanarak çalışırlar. Statorda bulunan sabit mıknatısla, rotorda bulunan elektro mıknatıs birbirini iterek dönme kuvveti

oluştururlar. DC motorlar girişı gerilim, çıkışı açısıl hız olan bir basit bir makinedir. Şekilde 3.8’de kullanılan DC motorun görseli bulunmaktadır. Ayrıca şekil 3.7’de motorun elektrik devresi yer almaktadır.



Şekil 3.7: Deney Düzeneginde Kullanılan DC Motor Elektrik Devresi

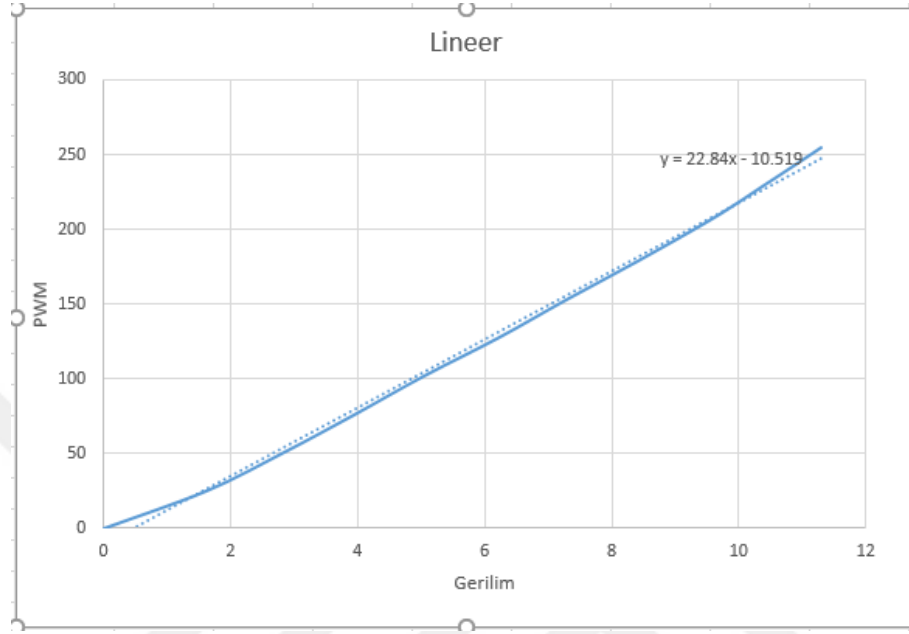


Şekil 3.8: Deney Düzeneginde Kullanılan DC Motor

DC motorlar ucuz ve kullanımı kolay olduğundan hız kontrol uygulamalarında sıklıkla kullanılırlar.

Motora uygulanan enerji kutuplarının yeri değiştirildiğinde ters yöne doğru dönmeye başlayacaktır. Bu özelliğinden dolayı motor frenlemesi elektriksel olarak kolaylıkla yapılabilmektedir. Ayrıca farklı şekilde hız kontrolü de yapılabilmektedir. Bunlardan bazıları; giriş gerilimini değiştirme, rotor devresine direnç ekleme veya aralıklarla sinyal gönderme (PWM Pulse With Modulation), belirli hızda dönmesini sağlamak bu yöntemlerden bazılarıdır.

Bu çalışmada aralıklarla sinyal gönderme yöntemi kullanılmıştır. Şekil 3.8’ da motora, motor sürücüsü tarafından gönderilen PWM sinyalleri yer almaktadır. Şekil 3.9 da PWM sinyallere göre kullanılan motorun dönüş hızı yer almaktadır.

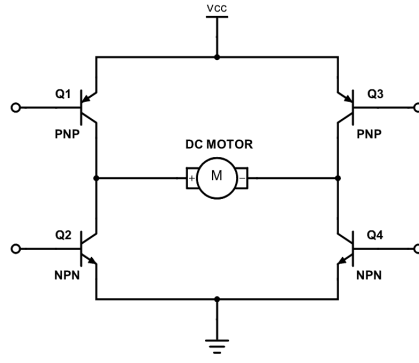


Şekil 3.9: DC Motor Gerilim – Hız Grafiği

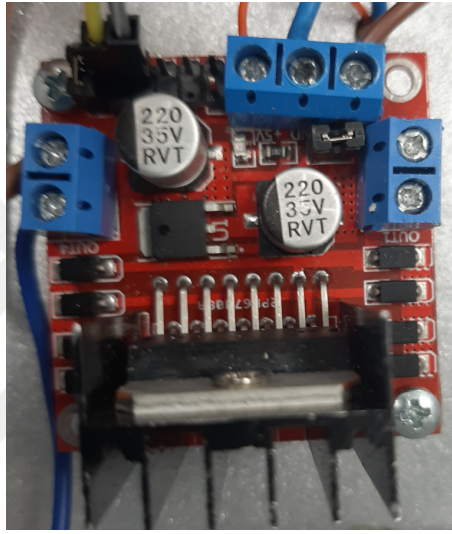
3.2.1.2 DC Motor Sürücü

Motorlar ilk çalıştırıldığında, atalet momentini yenmek için yüksek akım çekerler. Sayısallaştırıcı kartlar gerilim üretebilmelerine rağmen, çıkış güçleri yeterli değildir. Motorun ihtiyacı olan gücü sayısallaştırıcı kart sağlayamayacağından ve kontrol kolaylığından dolayı motorları sürücü ile kontrol etmek sık başvurulan yöntemlerdendir. Sürücüler çeşitli elektronik mimariye sahip olabilirler. DC motor kontrolünde sık kullanılan mimarilerden bir tanesi transistörlerle oluşturulan H-köprüsüdür. H-köprüsünde ilgili girişe sinyal gönderildiğinde çapraz yönlü transistörler devreye girerek devreyi tamamlarlar. Bu sayede motora gerekli gerilim gitmiş olur.

Sistemde kullanmış olduğumuz DC sürücüsü üzerinde LM298N devre elemanı bulunmaktadır. Devre mimarisi farklı olsa da çalışma mantığı H-köprüsüyle aynıdır. Şekil 3.10’de sürücünün devre şeması ve Şekil 3.11’de kartın görseline yer verilmiştir.[12]



Şekil 3.10: H-köprüsü DC Motor Sürücü Devre Şeması



Şekil 3.11: LM298N DC Motor Sürücü Kartı

3.2.1.3 Enkoder

Enkoder milinin dönme işlemi sırasında sayısal sinyal üreten elektronik algılayıcılardır. Enkoder'ler döner hareket eden bir cismin parçasına bağlanır. Enkoderden üretilen sayısal sinyallerle hız ve pozisyon bilgisi elde edilebilir.

Enkoder'ler çalışma şekillerine göre, lineer ve şaft olmak üzere iki gruba ayrılır. Enkoder'ler dönme verisini okuma şekline göre optik ve manyetik yapıyla çalışabilir. Çalışmada kullanılan optik yapılı artırimsal enkoder'dır. Her bir milinin dönüşü esnasında 400 sinyal göndermektedir.

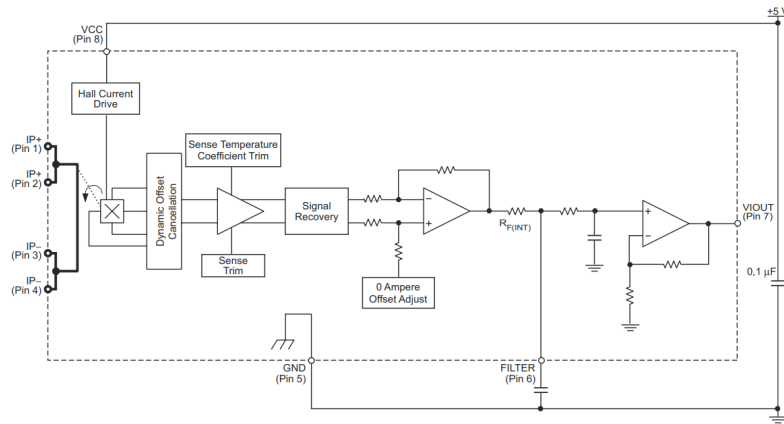


Şekil 3.12: ACS 712 Akım Ölçüm Kartı

3.2.1.4 Akım Gerilim Sensörü

Motorun hızı gerilim, tork ve akım ile orantılıdır. Hız ve tork kontrol uygulamalarında motorun çektiği akım ve gerilimin bilinmesi önemlidir.

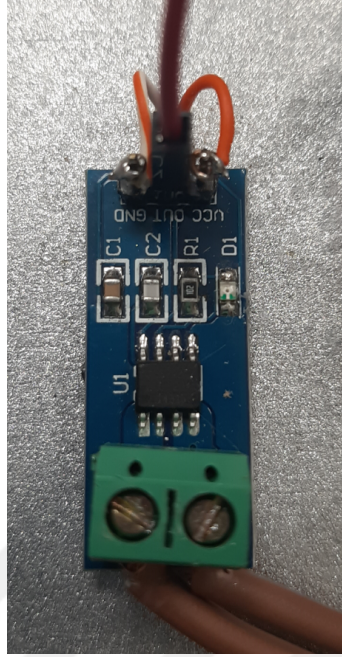
Arduino Uno kartında yeterli analog sayısallaştırıcı giriş olmadığından sisteme ACS712 kartı eklenmiştir. Bu kart sayesinde akım $\pm 30A$ ve ölçülebilmektedir. Ürünün içyapısı şekil 3.16' da verilmiştir.



Şekil 3.13: ACS 712 Akım Sensörü İç Yapısı

Devreye seri olarak bağlanan sensör üzerinden gelen akımı hall efect sensör ile

gerilime çevirmektedir. Akımın gerilim karşılığı Arduino’ dan okunup, akım karşılığının çıkarımı yapılmaktadır. Akım sensörünün görseli Şekil 3.14’ da verilmiştir.



Şekil 3.14: ACS 712 Akım Sensörü

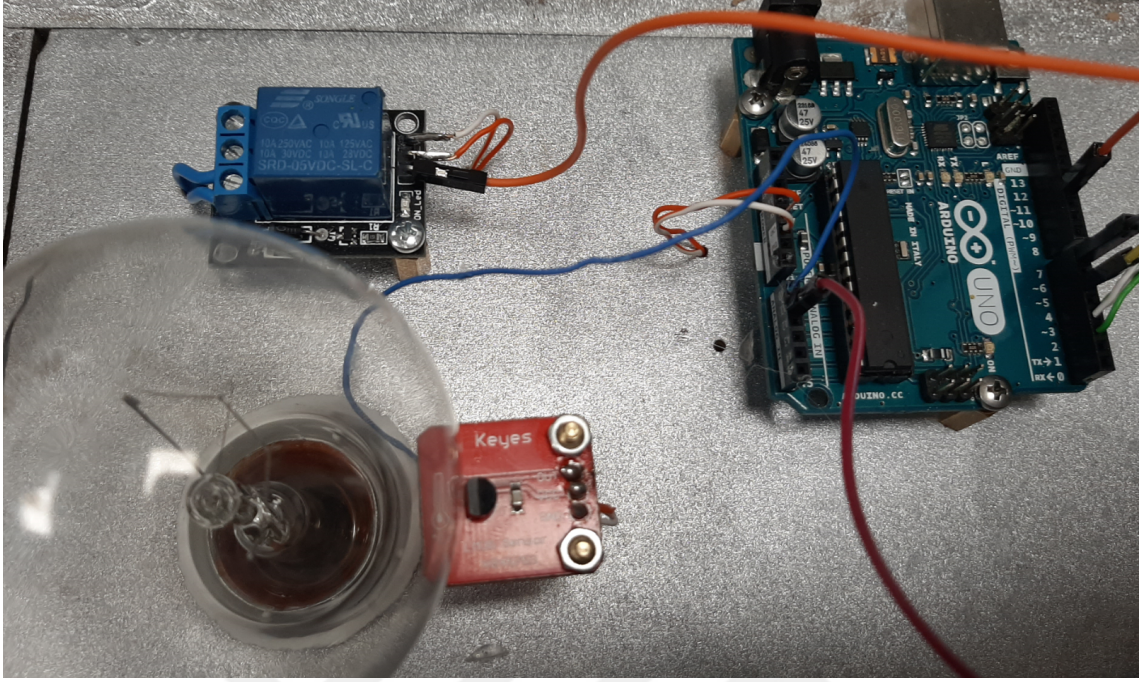
3.2.2 Sıcaklık Kontrolü Deney Düzeneği

Isıtıcı ve soğutucuların temelinde sıcaklık kontrol problemi yatmaktadır. Ortamı sabit sıcaklıkta tutmak için ısıtıcının algılayıcıdan gelen bilgiye göre çalışması gerekmektedir. Yapılan tez çalışmasında, klasik kontrol metotlarından aç/kapa kontrolü ile sıcaklık kontrolü tasarlanan deney düzeneğinde ele alınmıştır.

3.2.2.1 Sıcaklık Kontrol Düzeneğinde Kullanılan Materyaller

Sıcaklık kontrol düzeneği tasarımında bir adet duylu 60W tungsten ampul, bir adet röle bir adet LM35 sıcaklık algılayıcısı kullanılmıştır.

Sistemde ampul ısıtıcı olarak kullanılmıştır. Ampul 220V AC gerilim verildiğinde içerisindeki ince kablolar ısınmaktadır. Ortaya çıkan ısı lm35 sıcaklık sensörü tarafından algılanmıştır. Sistemin sürücüsü olarak röle kullanılmıştır. Röle kullanımı basit ve ucuzdur. Son olarak kontrol sistemi için donanım olarak Arduino Uno kullanılmıştır. Sıcaklık kontrol sisteminin deney düzeneği Şekil 3.15’de verilmiştir.



Şekil 3.15: Sıcaklık Kontrol Düzenneği

3.2.2.2 Veri Toplama Kartı

Veri toplama kartı ile ilgili bilgi 3.3.3. no' lu bölümde verilmiştir.

LM35 sıcaklık algılayıcısının analog çıkış verilerini okumak için Arduino'nun analog giriş 0 no'lu pini kullanılmıştır. Ayrıca röleyi sürmek için ise Arduino Uno kartının sayısal çıkış 13 no'lu pini kullanılmıştır.

3.2.2.3 Sıcaklık Algılayıcısı (LM35)

Sıcaklık algılayıcısı için piyasada kolay bulunan ucuz ve kullanışlı olan LM35 tercih edilmiştir. LM35 sıcaklık algılayıcısının 3 adet bacağı vardır. Bu bacaklardan 2 tanesi gerilim besleme diğeri ise sinyal çıkışıdır.

LM35 sıcaklık algılayıcısı ile -55 C den 150 C ye kadar ölçüm yapabilmektedir. Sıcaklık algılayıcısı her bir sıcaklık değişimine 10mV değişim vermektedir. Örneğin oda sıcaklığı 24 C ise sensör 240mV gerilim üretir.

LM35 sıcaklık algılayıcısı 4-30V arasında beslenebilmektedir. Deney sistemimizde Arduino üzerinden 5V ile beslenmektedir. Algılayıcının maksimum ölçüm aralığındaki



Şekil 3.16: LM 35 Sıcaklık Algılayıcısı



Röle geçmişten günümüze kadar kontrol uygulamalarının vazgeçilmez elemanlarından bir tanesidir. Yüksek gerilim ve akım kontrolü için en ucuz anahtarlama elemanlarından bir tanesidir. Röle’ler uyarıldığında içerisindeki elektromıktanıs özelliği gösteren bobin manyetik alan oluşturarak, kontaktörlerin yerlerini değiştirirler. Rölenin enerjisi kesildiğinde ise kontaktörler eski konumuna geri dönerler.

Rölenin içinde normalde açık (NA) ve normalde kapalı (NC) olmak üzere iki tip kontaktör bulunmaktadır. NA kontaktörler röleye enerji verildiğinde kısa devre olurlar. NC kontaktörler ise role enerjisiz iken kısa devrelerdir.

Röleler giriş ve anahtarlama elemanına göre çeşitli gruplara ayarılırlar. Ayrıca üzerinden geçen gerilime ve akıma göre çeşitli röleler bulunmaktadır.

31



Şekil 3.17: Röle

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1 DC Motor Hız Kontrol Deney Düzenegi

Motor kontrol uygulamalarında, motorun dönüş hızını kontrol etmek en sık karşılaşılan problemlerdendir. Motor kontrolü yaparken klasik metotlardan deneme yanılma yöntemi ile PID ataması ve Modern kontrol yöntemlerinden sistem modelini çıkartarak, birim basamak cevabı ve frekans cevabı yöntemi kullanılarak uygulama yapılmıştır.

4.2 Transfer Fonksiyonu Bilinen Sistemin Kontrolü

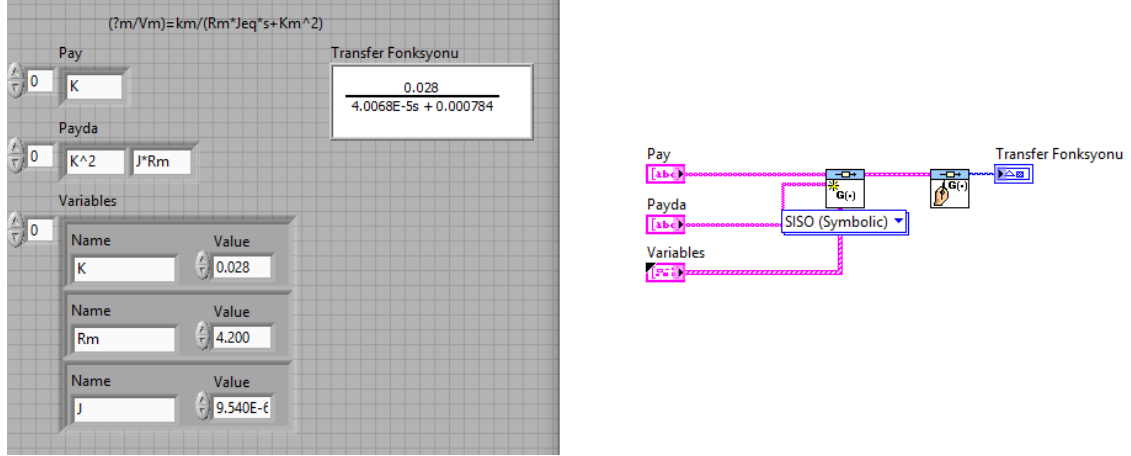
DC motorun transfer fonksiyonu, motorun elektrik ve mekanik sistem özelliklerinden türetilir. Motorun girişi voltaj (V_m) ve motordan çıkışı ise açısal hızdır (m). Motorun giriş ve çıkışındaki ilişki aşağıdaki denklemle ilişkilidir. Kullanmış olduğumuz motorun değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

$$(\Omega_m/V_m) = km/(R_m * J_{eq} * s + Km^2) \quad (4.1)$$

Tablo 4.1: Motor Değerleri

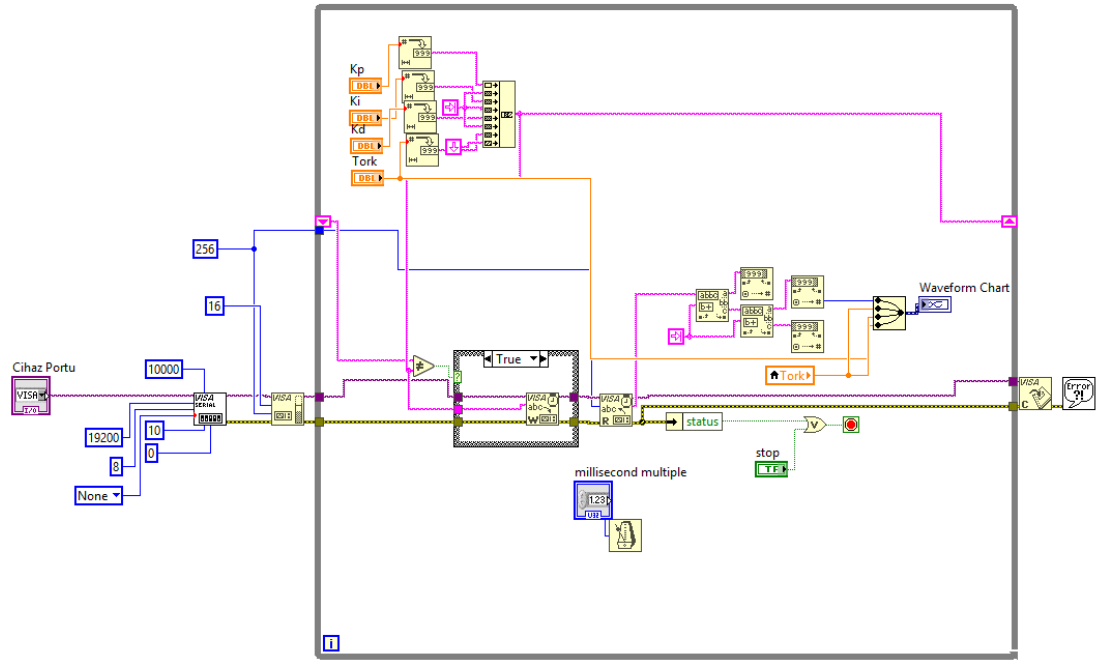
Sembol	Açıklama	Değer	Birim
R_m	Motor Armatür Direnci	4.2	ohm
K_m	Motor Tork Sabiti	0.028	N.m
K_m	Ters EMK sabiti	0.028	V(rad/s)
J_{eq}	Atalet Momenti	0.00000954	kg.m ²
M_i	Dahili disk ağırlığı	0.033	kg
r_i	Dahili disk yarıçapı	0.0242	m
V_{max}	PWM Sinyal çıkış genliği	12	Volt

Motorun çıkış ve girişinin oranı motorun transfer fonksiyonu ile ilgilidir. Sistemin modelini çıkartmak ve kontrolör tasarımında yukarıda belirtilmiş olan dc motor hız denklemi kullanılacaktır. LabVIEW programı ile parametreleri belli olan sistemin transfer fonksiyonu çıkartılmıştır. Şekil 4.1' de transfer fonksiyonu gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Sistem Transfer Fonksiyonu

Transfer fonksiyonu belirli ve kararlı bir sistemdir; birim basamak cevaba tepkisi grafikteki gibi gösterilmiştir.



Şekil 4.2: Sistem Transfer Fonksiyonu

4.2.1 Modeli Bilinmeyen Sistemin Kontrolü

Sistemi modeli bilinmeyen sistemleri kağıt çevrim kontrol ile kontrol etmek mümkündür. Çalışmamızda modeli bilinmeyen sistem için hız ve tork kontrol uygulaması gösterilmiştir.

Kontrol deneyleri için eyleyici olarak kullanılan redüktörlü DC motor LN298N, DC motor sürücü kartı ile sürülmüştür. Sürücü kartı sabit 12V gerilim veren güç kaynağı ile beslendiğinden motora uygulanan PWM sinyallerinin genliği 12V olmuştur. DC motor sürücü kartına Arduino uno sayısallaştırıcı kartından PWM sinyali gönderilmiştir. Kontrol sinyaline göre gönderilen PWM sinyalinin görev döngüsü (Duty Cycle) değiştirilerek motor kontrol uygulaması gerçekleştirilmiştir.

4.2.1.1 Hız Kontrol Uygulaması

Motorun dönüşündeki yön denetlenmediğinden artırimsal enkoderin 2. sinyal kablosu sisteme bağlanmamıştır. Motorun dönüş miktarı tetik sinyal toplamının enkoder hassasiyetine bölünmesiyle bulunmasına rağmen, birim dakikada dönüş miktarını kesin olarak hesaplamak için, gelen sinyalin birim zamandaki miktarını bilmek gerekmektedir. Yapılan bütün çalışmalarda döngü süresinden motor dönüş hızı hesaplaması yapılmaktadır. Döngü süresi işlemcinin yoğunluğundan etkileneceğinden, çalışmamızda zaman kesmesi kullanılmıştır. Zaman kesmesinin değerleri ayarlanırken enkoderin ürettiği birim saniyedeki sinyal miktarı denkleminde yararlanılmıştır.

$$SinyalFrekansi = \frac{RPM * EnkoderHassasiyeti}{60} \quad (4.2)$$

Kullanmış olduğumuz artırimsal enkoderin her bir dönüşünde 400 sinyal ürettiğinden ve motorun hızı 200 rpm olduğundan dakikada 80.000 sinyal, saniyede 1.333 sinyal elde edeceğiz. Enkoderin ürettiği birim saniyedeki sinyal miktarı denklemine göre yapılan işlemler sonucunda enkoder sinyal frekansımızı 0,0075 olarak hesaplanmıştır.

Nyquist teoremi, sinyal örnekleme frekansını en az 2 kat, ideal olanı 10 kat fazla olmasını önermektedir. Sistemimizin frekansına göre örnekleme zamanımızı ($dt = 0.01sn$) seçilmiştir. Şekil 4.3' de örnekleme frekansının ayarlandığı zaman kesmesi kodu ve şekil 4.4' de enkoder değerinin sayma kodu yer almaktadır.

$$EnkodersinyalfrekansiF = \frac{1}{T} \quad (4.3)$$

Sistem gerçek zamanlı olarak tasarlandığından kontrol algoritması Arduino Uno'nun

```

// Zaman Kesmesi
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(ENC_IN), updateEncoder, FALLING);

// TIMER 1 for Kesme Frekansı100 Hz:
cli();
TCCR1A = 0;
TCCR1B = 0;
TCNT1 = 0;
OCR1A = 19999;
TCCR1B |= (1 << WGM12);
TCCR1B |= (0 << CS12) | (1 << CS11) | (0 << CS10);
TIMSK1 |= (1 << OCIE1A);
sei();

}
ISR(TIMER1_COMPA_vect) {

//gecen sure 0,01 sn de bir buraya girecek
rpm=(encoderValue*60)/(ENC_COUNT_REV*dt);

```

Şekil 4.3: Zaman Kesmesi Ayarlanma Kodu

```

// *****
void updateEncoder()
{
    // Increment value for each pulse from encoder
    encoderValue++;
}

```

Şekil 4.4: Enkoder Sinyalinin Sayma Kodu

içerisine Atmega328P işlemcisine gömülmüştür. Arduino karar mekanizmasını her 0.01 saniyede işlenip, işlem sonucu seriport'a aktarmaktadır. Şekil 4.5' de ilgili kod yapısı verilmiştir. Ayrıca Arduino, hız ve kontrol değişkenlerini benzetim programı üzerinden alıp kendi değişkenlerine aktarmaktadır.

Şekil 4.5' de görülebileceği üzere geri besleme değeri olan rpm değerini, y değişkenine aktarıyor. Benzetim programından gelen referans hız değerinden (r), y değişkenini bularak hata değerini bulmaktadır.

$$e(t) = y(t) - r(t) \quad (4.4)$$

```

ISR(TIMER1_COMPA_vect){
    //interrupt commands for TIMER 1 here
    //gecen sure 0,01 sn de bir buraya girecek
    //int rpm = encoderValue * 60*100 / 400;
    rpm=(encoderValue*60)/(ENC_COUNT_REV*dt);

    //*****
    |

    y = rpm;
    e = r - y;
    e_int += e;
    u = Kp * e + Ki * e_int * dt + Kd * (e - e_old) * dt;
    e_old = e;
    // motorPwm= map(constrain(u,0,210),0,210,0,255);//constraine değeri bir aralığa sınırlıyor, map 0-255 arasına yuvarlıyor

```

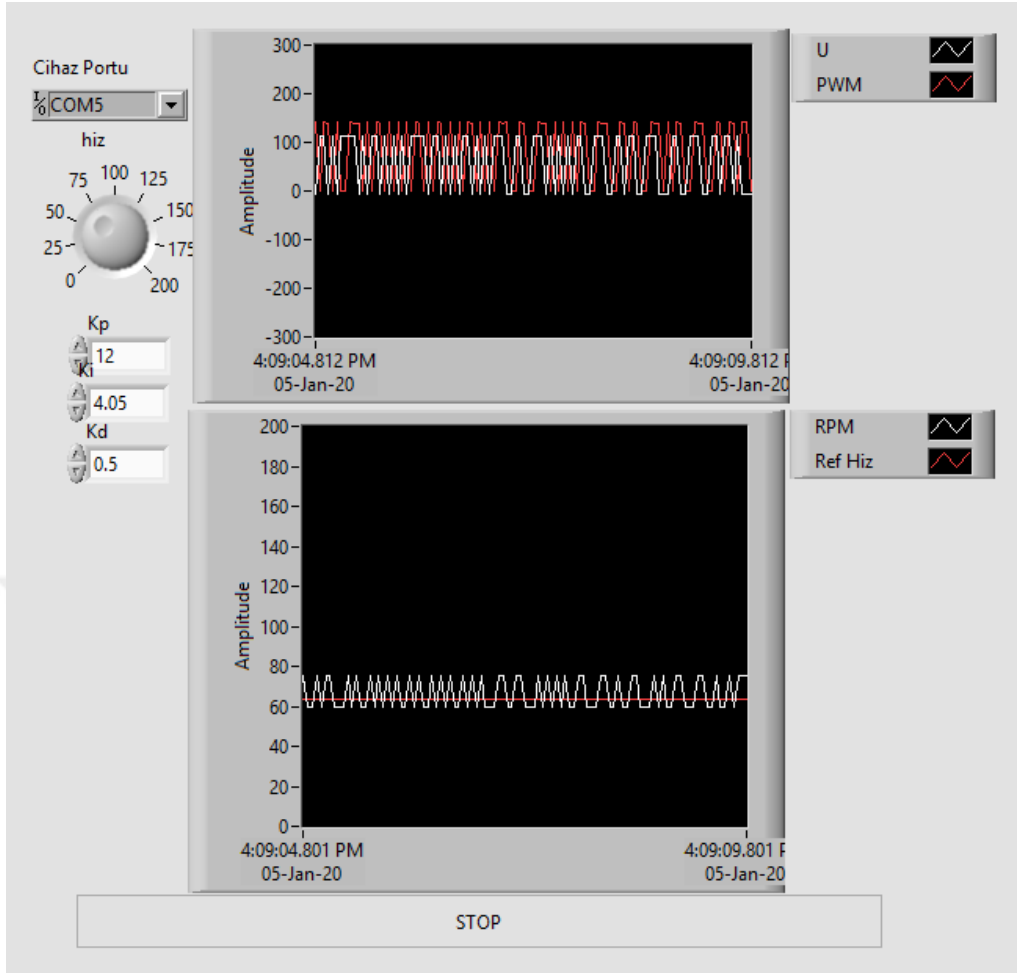
Şekil 4.5: Kontrol Algoritması

İntegral etkisi hatanın toplamından oluştuğundan $e_int += e$; koduyla hata değerlerini toplamaktadır.

Son olarak $u = Kp * e + Ki * e_int * dt + Kd * (e - e_old) / dt$; koduyla kontrol sinyali değeri elde edilmektedir.

$$u(t) = K[e(t) + 1/T_i \int_0^t e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt}] \quad (4.5)$$

Şekil 4.6' da ki program ana döngüsünde kontrol sinyaline göre analogWrite (5, int(motorPwm)); kodu ile motor sürücüsüne sayısal 5. kanaldan pwm sinyali üretilmiştir. Ayrıca seri bağlantı noktasındaki referans parametreler okunup, sistem ölçüm sonuçları yazdırılmıştır. Şekil 3.31 'de benzetim programının kullanıcı arayüzü ve Şekil 4.7' de benzetim programı yazılımı yer almaktadır.



Şekil 4.8: LabVIEW Programının Kullanıcı Arayüzü

Bir motorun gücü, o motorun torkunun açısal hızı ile çarpımına eşittir ($P = T \times w$). Motor gücü (P), motora uygulanan voltaj ile motorun çektiği akımın çarpımına eşittir. ($P = V \times I$) Açısal hız ise motorun frekansının (motorun bir saniyede tamamladığı tur sayısının) pi sayısı ile çarpımının iki katıdır. ($w = 2 \times \pi \times f$) Tork kontrol uygulaması için motora seri olarak bağlanan akım sensörüyle motara giden akım ve gerilimin ne kadar hakkında kontrolcüye bilgi vermektedir.

Kullanmış olduğumuz acs712 sensöründen tork hesabı için akım bilgisini almaktayız. Akım bilgisini uygulanan sabit 19.38V gerilimle çarpıp motorun gücü bulunmaktadır.

$$P = V * I \quad (4.6)$$

Bulunan gücün dönme sayısı ile çarpılarak, motor tork kontrolü yapılmaktadır. Sistemimizin torkunu kontrol etmek için motorun dönme hızını değiştirerek tork kontrol

işlemi yapılacaktır. Tork kontrol için kullanılan arduino kodu şekil 4.9’da verilmiştir.

```
//interrupt commands for iimk i nere
//gecen sure 0,01 sn de bir buraya girecek
//int rpm = encoderValue * 60*100 / 400;
rpm=(encoderValue*60)/(ENC_COUNT_REV*dt);

//*****Tork Hesabı
Gerilim = (analogRead(TorkPin) / 1024.0) * 5000;
Akim = abs((Gerilim - acofset) / mVperAmp);

Tork= Akim*19.38*rpm;
//*****
// if(e_int>1000)
//e_int=0;
//if(e_old>1000)
//e_old=0;

y = Tork;
e = r - y;
e_int += e;
u = Kp * e + Ki * e_int * dt + Kd * (e - e_old) * dt;
e_old = e;
// motorPwm= map(constrain(u,0,210),0,210,0,255);//constraine değeri bir aralığa sınırlıyor, map 0-255 :

encoderValue = 0;
}

//*****
void loop()
{

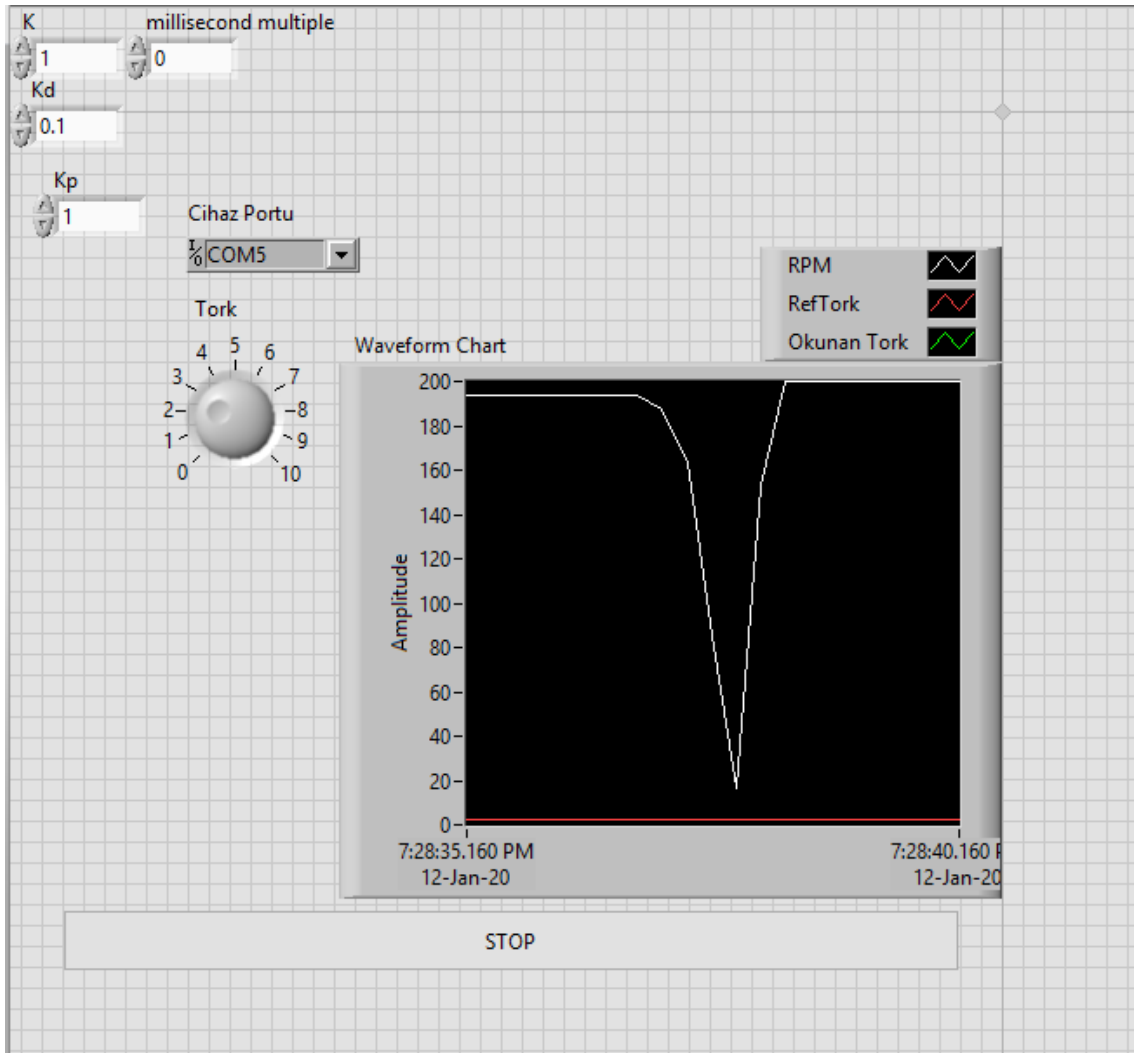
Kp =8;
Ki = 0.005;
Kd = 0.5;

motorPwm=map(u,0,205,0,255);
motorPwm= constrain(motorPwm,0,255);
analogWrite(5, int(motorPwm));
//analogWrite(5, 255);

if ( Serial.available() ){
String Gelen= Serial.readString();
int ind1 = Gelen.indexOf('\t'); //finds location of first ,
Kp = (Gelen.substring(0, ind1)).toDouble(); //captures first data String
int ind2 = Gelen.indexOf('\t', ind1+1 ); //finds location of second ,
Ki = (Gelen.substring(ind1+1, ind2)).toDouble(); //captures second data String
int ind3 = Gelen.indexOf('\t', ind2+1);
```

Şekil 4.9: Tork Kontrol Uygulaması Arduino Kodu

Arduino LabVIEW programı üzerinden aldığı referans Tork değerine göre sistemin çalışmasını gerçek zamanlı olarak kontrol edip, sistemin mevcut hız ve tork bilgisini LabVIEW programına aktarmaktadır. Kullanılan LabVIEW programının görseli şekil 4.10'da verilmiştir.

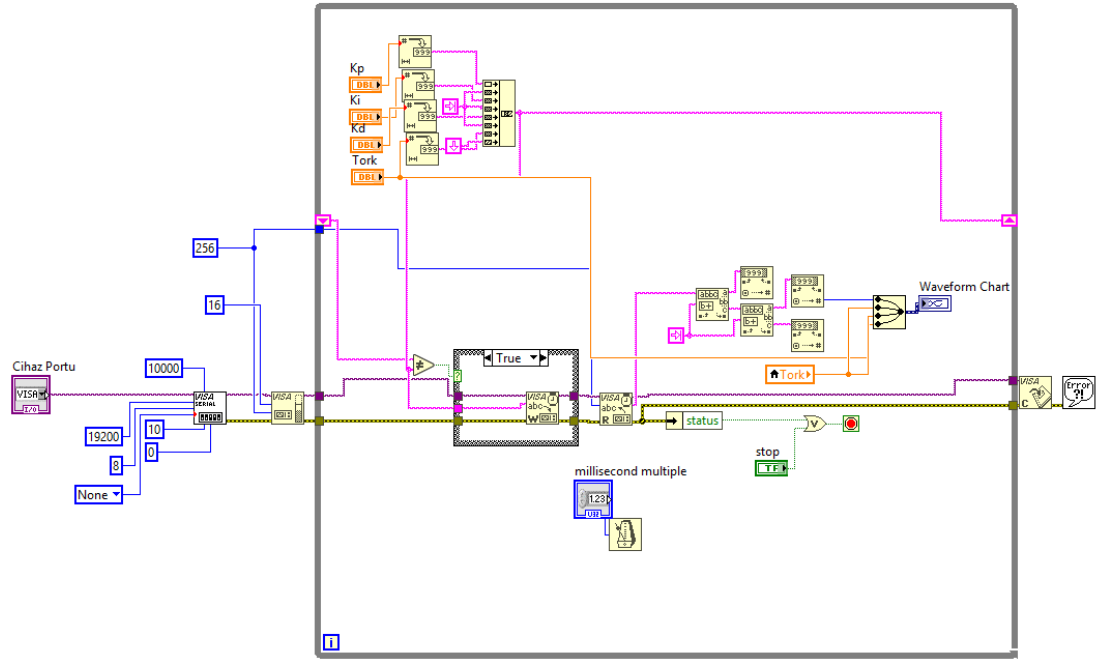


Şekil 4.10: Tork Kontrol Uygulaması LabVIEW Programı Kullanıcı Arayüzü

4.2.1.3 Harmonik Denetim Dizileri Yöntemiyle Ayırık Zaman Kontrolü

Denetim dizileri, bozunumlu veya tekrar eden sistemlerde hata işaretini en aza indirmek için kontrol işaretinin Fourier serisi açılımı bileşenlerini düzenleme yoluyla çalışan bir yöntemdir.

Harmonik denetim dizileri yöntemi üç aşamadan oluşmaktadır: Harmonik Dağıtıcı adı



Şekil 4.11: Tork Kontrol Uygulaması LabVIEW Programı Kod Ekranı

verilen ilk aşamada, hata (girdi) işareti daha önce belirlenen bir sayıdaki harmonik bileşenlerine dönüştürülür ve bu aşama bittikten sonra hata işaretinin harmonik bileşenlerinden oluşan bir vektör elde edilir.

$$\langle x \rangle_h [n] = \frac{1}{N} \sum_{k=n-N+1}^n x[k] e^{-j h \omega_k T_s} = \frac{1}{N} \sum_{k=n-N+1}^n x[k] e^{-j 2 \pi h k / N} \quad (4.7)$$

İkinci aşamada, istenilen bir denetim yöntemi her bir harmonik bileşene ayrı ayrı uygulanır ve denetim işaretinin harmonik bileşenlerinden oluşan bir vektör hesaplanır.

$$\langle x \rangle_h [n] = \langle x \rangle_h [n-1] + \frac{1}{N} (x[n] - x[n-N]) \cos\left(\frac{2 \pi h n}{N}\right) - j \frac{1}{N} (x[n] - x[n-N]) \sin\left(\frac{2 \pi h n}{N}\right) \quad (4.8)$$

Harmonik toparlayıcı adı verilen son aşamada ise denetim işaretinin harmonik bileşenleri, vektörü yekpare bir denetim işareti oluşturacak şekilde bir araya getirir.

$$u[n] = \langle u \rangle_0 [n] + 2 \operatorname{Re} \sum_{h=1}^H \langle u \rangle_h [n] e^{j \frac{2 \pi h n}{N}} \quad (4.9)$$

Denetim hesaplarından sonra, denetim işareti tesise/yüke uygun bir şekilde uygulanır.

```
if (k >= N) k = 0;

//fundamental component of HCA
X_real[0] += e - e_buff[k];
E_real[0] += dt * X_real[0];
U_real[0] = Kp_real[0] * X_real[0] + Ki_real[0] * E_real[0];

//harmonics of HCA
for(i = 1; i <= H; i++) {
//Harmonic disperser and PI control of harmonics
X_real[i] += (e - e_buff[k]) * twiddle[(i*k)%N].real;
X_imag[i] += (e - e_buff[k]) * twiddle[(i*k)%N].imag;
E_real[i] += X_real[i];
E_imag[i] += X_imag[i];

U_real[i] = Kp_real[i] * X_real[i] - Kp_imag[i] * X_imag[i]
            + Ki_real[i] * E_real[i] - Ki_imag[i] * E_imag[i];
U_imag[i] = Kp_real[i] * X_imag[i] + Kp_imag[i] * X_real[i]
            + Ki_real[i] * E_imag[i] + Ki_imag[i] * E_real[i];
}
e_buff[k] = e; //set the current error to the kth previous error

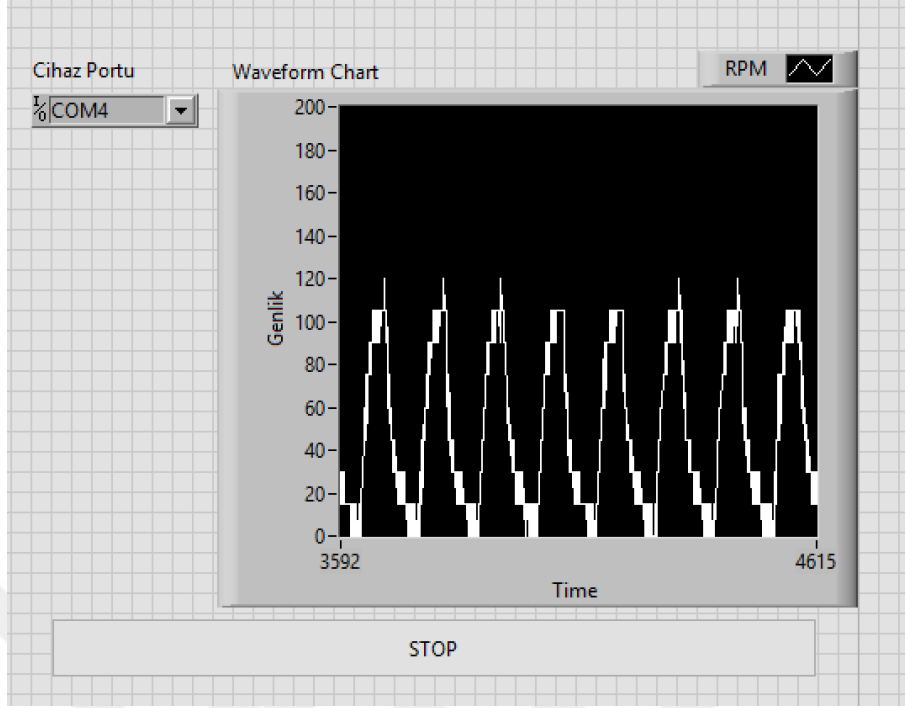
//Harmonic Assembler
ubuff = 0;
for(i = 1; i <= H; i++) {
    ubuff += ( U_real[i] * twiddle[(i*k)%N].real
              + U_imag[i] * twiddle[(i*k)%N].imag );
}
u = U_real[0] + 2.0 * ubuff;
if(u>=180) u=180;
if(u<=-180) u=-180;
```

Şekil 4.12: Denklemlerde Anlatılan Algoritmanın Arduino Kodu

Sistem, referans olarak gönderilen sinüs sinyali takip etmektedir. Arduino' nun analog çıkış çözünürlüğü yüksek olmadığından 10 Hz' lik bir sinyali sistem takip edebilmektedir. Sistemin çıktısı diğer deneylerde olduğu gibi LabVIEW programı üzerinden gözlemlenmiştir. Şekil 4.14' de sistem çıktısının görüntüsü yer almaktadır.

4.2.2 Sıcaklık Kontrol Düzeneginde Kullanılan Yöntem

Sıcaklık kontrolü, özel konularda hassas yöntemler kullanılmayı gerekmektedir.



Şekil 4.13: LabVIEW Kullanıcı Arayüzünde Sistem Sinüs Sinyali Çıkışı

Örneğin vücuttan bir doku ısıtılarak buharlaştırılacaksa veya hassas maddeler ısıtılacaksa farklı kontrol metotları ve hassas sıcaklık algılayıcıları kullanılmalıdır.

Deney sistemimizin mantığı evlerimizde bulunan elektrikli ısıtıcı ya da fırın olduğundan birkaç derecelik ölçüm sapması sıcaklık kontrolümüzü başarısız sayılmayacaktır. Hatta kontrolde %5 hata payı bırakarak rölenin daha geç eskimesini sağlayacağız.

Deney sisteminde aç kapa kontrol metodu kullanılacaktır. Aç/Kapa kontrol metodunun kullanmakta olduğu denklem 2.bölümde yer alan Denklem 1’de verilmiştir.

Sistem referans değerinin çevresinde sürekli aç/kapa yapacağı için hem ısıtıcı hem de sürücü elemanının kullanım ömrü kısılacaktır. Aç/kapa işleminin sayısını azaltmak için sisteme kabul edilebilir hata toleransı koyulmalıdır. Yapmış olduğumuz sistemin hata toleransı %5 olarak kabul edilmiştir.

koyulmalıdır. Yapmış olduğumuz sistemin hata toleransı %5 olarak kabul edilmiştir.

Örneğin sistemin sıcaklığını 30 C de tutulmak isteniyor ise sistem 31,5 C kadar çalışacak ve 31.5 C kapanacaktır.

Örneğe göre sistem hata toleransının hesaplanması;

$$30 + (30 * \%5) = 31,5^{\circ}C \quad (4.10)$$

Sistem yavaş yavaş soğumaya başlayıp 29,5 düştüğünde sistem tekrar çalışacak ve 31,5 olana kadar ortamı ısıtacaktır.

Örneğe göre sistem hata toleransının hesaplanması;

$$30 - (30 * \%5) = 29,5^{\circ}C \quad (4.11)$$

Böylelikle sistem sürekli aç/kapa yapmayacaktır. Örneğini verdiğimiz sıcaklık aç/kapa kontrolün Arduino kodu Şekil 4.14' de verilmiştir.

Şekil 4.14' de yer alan kod ile benzetim ara yüzünden okunan referans değeri sayesinde algılayıcı verisi çıkartılarak hata belirlenmektedir. Hata tolerans değerinin içerisinde değilse Arduino Uno' nun sayısal çıkış 13. kanalından 1 komutu gönderilerek rölenin konumu değiştirmesi sağlanmaktadır. Ayrıca seri bağlantı noktasına (seri port) ortam sıcaklık verisi aktarılarak, kullanıcı ara yüzü programından sistem durumunu kontrol etme imkânı bulunmaktadır. Benzetim programının görseli şekil 4.15' de verilmiştir.

```

#define sensorPin A0
double okunan;

int role =13;
int hata;
double altref, ustref,ref;

void setup() {
    Serial.begin(19200);
    pinMode(sensorPin,INPUT);
    pinMode(role,OUTPUT);
}

void loop() {
    okunan= ((analogRead(sensorPin)/1024)*500);
    if ( Serial.available() ){

        ref = Serial.parseInt();
    }
    Serial.println (okunan);

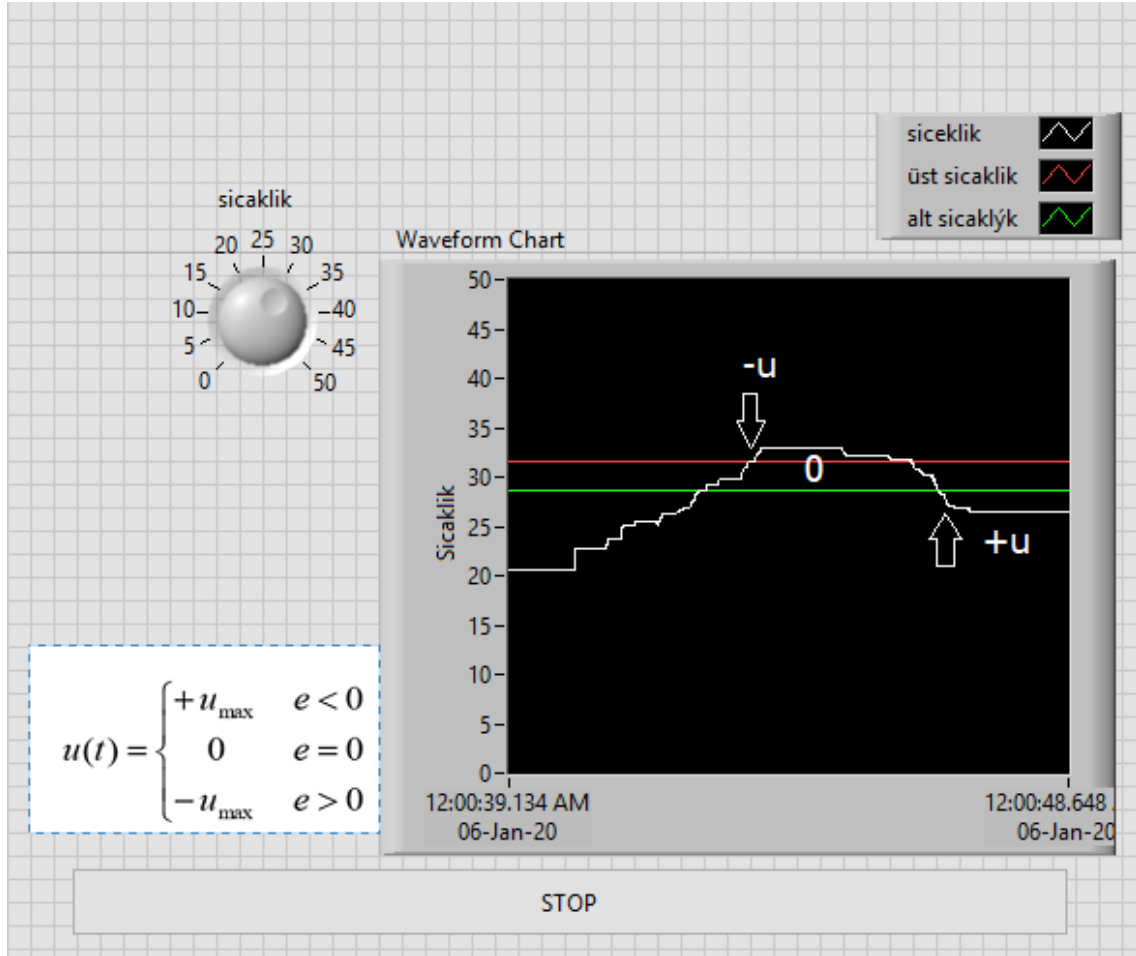
    hata=5;
    altref=ref * (100-hata)/100;
    ustref= ref* (100+hata)/100;

    if (okunan < altref) {
        digitalWrite(role,HIGH);
    }
    else if (okunan>ustref)
    {
        digitalWrite(role,LOW);
    }

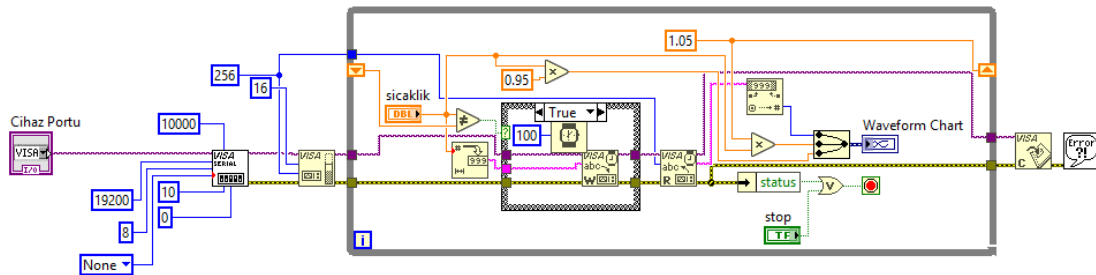
    delay(250);
}

```

Şekil 4.14: Aç/Kapa Kontrol Metodu Arduino Kodu



Şekil 4.15: LabVIEW Sıcaklık Kontrol Kullanıcı Arayüzü



Şekil 4.16: LabVIEW Sıcaklık Kontrol Program Diyagramı

4.3 Eğitim Ölçme Değerlendirme

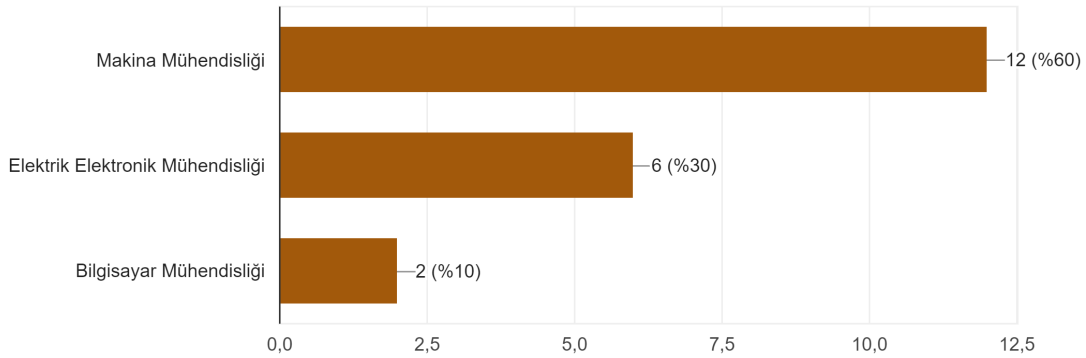
DC motor hız kontrol problemi ve sıcaklık kontrol problemi üzerine kurulan deney sistemi ile kontrol deney düzeneği ve deney tasarımı yapılması üzerine çalışılmıştır. Yapılan deney düzeneği ile elektronik, bilgisayar ve makine bölümlerinde verilen

kontrol ve sistem dinamiği derslerin amacına ulaşabilmesi için teorinin yanında uygulama destekli olması gerekliliği de öğrencilere uygulanan anket ölçme tekniği ile gözlemlenmiştir. Uygulanan bu anket ile deney düzeneğini kullanan mühendislik öğrencileri üzerinde deney sisteminin öğrenimlerine etkileri tespit edilmiştir.

Gerçekleştirilen ankete elektronik, bilgisayar ve makine mühendisliği bölümlerinden farklı sayılarda lisans ve lisans sonrası öğrenciler katılım sağlamıştır. 3 farklı üniversitenin belirtilen mühendislik dallarında 20 öğrenci üzerinde yapılan ankette çoktan seçmeli ve açık uçlu sorular yer almaktadır. Bu sorular içerisinde katılımcılardan kontrol mühendisliği ile ilgili aldıkları dersler, ön koşul dersleri ile ilgili bilgi düzeyleri ve deney düzeneği değerlendirmesi ile deney düzeneği hakkındaki görüşlerine yönelik yanıtlar alınmıştır.

Katılımcı sayısı ve alınan yanıtlara göre oluşturulan grafikler şöyledir:

Okuduğu Bölüm
20 yanıt

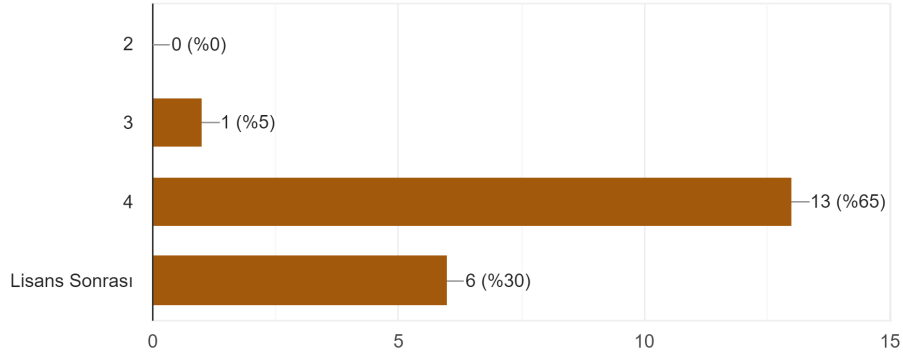


Şekil 4.17: Okuduğu Bölüme Göre Katılımcı Dağılım Oranı

Katılımcıların büyük çoğunluğunun kontrol dersini zorunlu aldıkları da anket içerisinde ayrıca tespit edilmiştir.

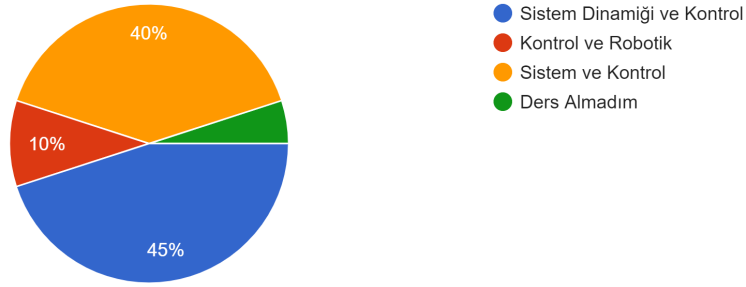
Çoktan seçmeli ve açık uçlu yorum sorularına alınan yanıtlar neticesinde teorik bilginin, uygulama yapılmadan yetersiz kaldığı görülmüştür. Gerçekleştirilen ankete göre

Sınıfı
20 yanıt



Şekil 4.18: Öğrenim Düzeyine Göre Katılımcı Dağılım Oranı

Kontrol Mühendisliği İle İlgili Alınan Dersler
20 yanıt

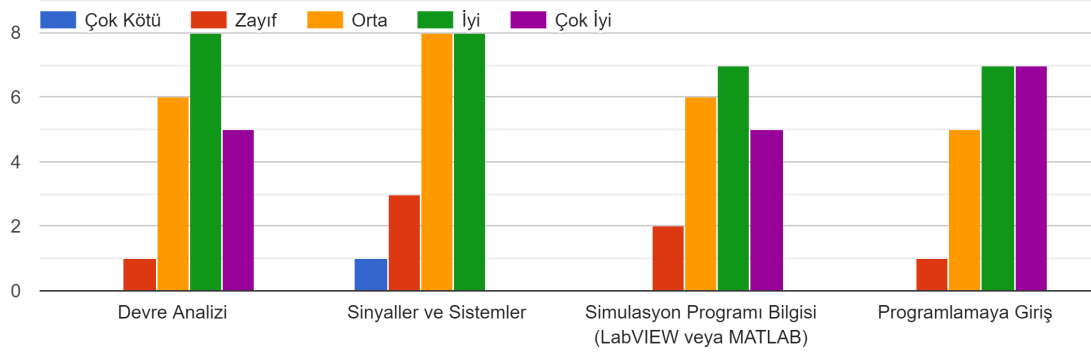


Şekil 4.19: Öğrenime Göre Alınan Ders Oranı

tasarlanan deney düzeneği teorik bilgiyi pekiştirme, kontrol sistemlerinde kullanılan ekipmanlar ve kontrol yöntemleri ile sistem davranışlarını görme ve anlama konusunda katılımcılar tarafından faydalı bulunmuştur.

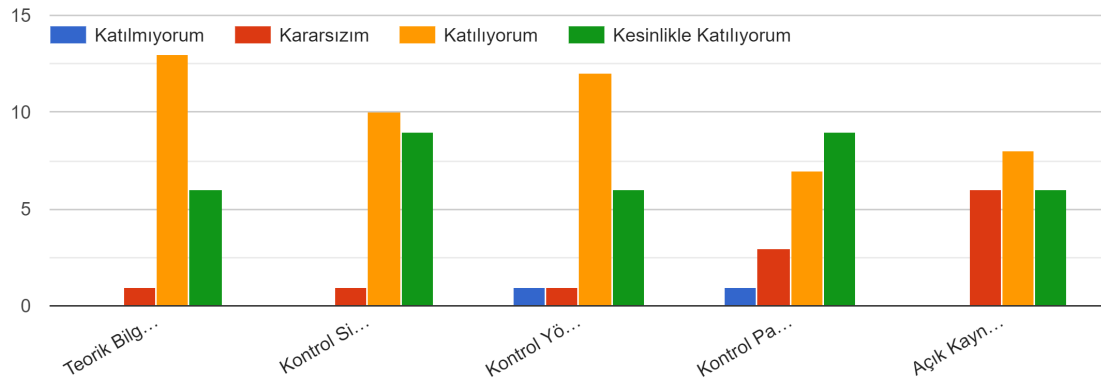
Anket çalışmasına katılan ve aynı zamanda tasarlanan deney düzeneği üzerinde çalışma yapan katılımcılarda açık kaynaklı kodlar ile deney sistemine katkıda bulunma ve daha fazla uygulama yapmak istediklerine yönelik geri bildirimler alınmıştır.

Ön koşul Dersleri ile İlgili Bilgi Düzeyi



Şekil 4.20: Öğrenime Göre Katılımcıların Ders Bilgi Düzeyleri

Deney Düzenekçi Değerlendirmesi



Şekil 4.21: Deney Düzenekçi İlişkin Başarı ve Fayda Değerlendirmesi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada üniversite lisans ve lisans sonrası derslerinde gösterilen Ogata K'nın Sistem dinamiği ve modern kontrol mühendisliği kitaplarında bulunan teorik yöntemlerin benzetim programında ve/veya uygulamada sonuçların gösterilerek kalıcı öğrenim sağlanması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda bazı modern ve klasik kontrol metotları sadece benzetim programı üzerinde ve bazı yöntemler de uygulama üzerinde gösterilmiştir.

Kurulan deney düzeneğinde günümüzde sıkça kullanılan sayısal kontrol yöntemi kullanılmıştır. Sayısal kontrol yöntemiyle DC motor hız kontrolü ve sıcaklık kontrol deneyleri yapılmıştır.

Sistem denkleminin çıkarılması ve bozucu etkilerden dolayı benzetim programında kurulan transfer fonksiyonu ve de kontrol sistemi parametreleri gerçek sistemde yetersiz kalmıştır. Kullanılan sayısal yöntemlerdeki sınırlamalar, dinamik geri besleme ve sistem çıkışına göre değiştirilen parametreler sayesinde kontrol sisteminin performansı artırılmıştır.

Tasarlanan deney sistemini kullanan lisans ve lisans sonrası öğrencilerinden kapalı çevrim kontrol sistemini oluşturma ve kurmanın, teorik ve benzetim programına göre daha verimli olduğu konusunda geri bildirimler alınmıştır.

Önceki öğrenim dönemlerinde sistem dinamiği ve kontrol dersi alan ve tasarlanan deney sistemini kullanan öğrencilerden, analog devre kurmak yerine sayısal kontrol yöntemi kullanmanın daha öğretici ve pratik olduğu geri bildirimi alınmıştır. Deney sistemindeki malzemeler kolay bulunabilen ve düşük maliyetli olduğundan öğrenci gruplarının kendi kontrol sistemlerini kurabilecekleri geri bildirimi alınmıştır. Kurulan deney seti farklı kontrol metotlarında da çalışılabilmesine imkân sağladığından, Harmonik Denetim Dizileri Yöntemiyle Ayırık Zaman Kontrolü metodu ilk defa DC motor hız kontrolü üzerinde çalıştırılmış, benzetim programı ekranında sonuçları gözlemlenmiştir.[14-15]

6. KAYNAKLAR

- [1] Leva, A. (2003). A hands-on experimental laboratory for undergraduate courses in automatic control. *IEEE Transaction on Education*, 46:2, 263-272.
- [2] Bernstein, D. S. (1999). Enhancing undergraduate control education. *IEEE Control Systems*, 40-43.
- [3] Ko, C.C., Chen, B.M., Chen, S.H., Ramakrishnan, V., Chen, R., Hu, S.Y., Zhuang, Y., (2000), "A large scale web based virtual oscilloscope laboratory experiment", *Engineering Science and Education Journal*, 69-76.
- [4] Zhang, S., Zhu, S., Lin, Q., Xu, Z., Ying, S., (2004), "NETLAB-An Internet Based Laboratory For Electrical Engineering Education", *Journal of Zhejiang University Science*, 393-398
- [5] Fieg, G., Wozny, G., Jeromin, L. (1992). Design, analysis and realization of a state control system for an industrial distillation column. *Journal Of Process Control*, 2(4), 179-187. doi: 10.1016/0959-1524(92)80007-k
- [6] Ogata, K. (1992). *System dynamics*. Estados Unidos: Prentice Hall.
- [7] Ogata, K. (2009). *Modern Control Engineering*. Pearson India.
- [8] Fieg, G., Wozny, G., Jeromin, L. (1992). Design, analysis and realization of a state control system for an industrial distillation column. *Journal Of Process Control*, 2(4), 179-187. doi: 10.1016/0959-1524(92)80007-k
- [9] Dorf, R., Bishop, R. (2014). *Modern control systems*. Essex: Pearson.
- [10] Dogruel M., (2005) "Harmonik kontrol dizileri," presented at the Turkish Nat. Symp. Autom. Control, Istanbul, Turkey
- [11] Arduino - Getting Started. (2020). Retrieved 7 January 2020, from <https://www.arduino.cc/en/Guide/HomePage>
- [12] L298N Motor Drive Datasheet (2020). Retrieved 7 January 2020, from <http://www.handsontec.com/dataspecs/L298N>
- [13] Kang, S., Wu, H., Yang, X., Li, Y., Wang, Y. (2019). Fractional-order robust model reference adaptive control of piezo-actuated active vibration isolation systems using output feedback and multi-objective optimization algorithm. *Journal of Vibration and Control*, 26(1-2), 19–35. doi: 10.1177/107754631987526052

[14] Dogruel M.,(2005) “Harmonic control arrays,” presented at the Syst. Control Theory Workshop, Gebze, Turkey

[15] Dogruel M., Çelik H. H.,(2011) “Harmonic control arrays method with a real time application to periodic position control”, IEEE Trans. Control Syst. Technol., vol. 19, no. 3, pp. 521–530



ÖZGEÇMİŞ

1. Adı Soyadı : Erdi ŞENOL

2. İletişim Bilgileri

Telefon : +90 536 891 9377

Mail : erdisenol@gmail.com

2. Doğum Tarihi : 19.01.1991

3. Unvanı : Mühendis

4. Öğrenim Durumu :

Derece	Alan	Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Bilgisayar ve Kontrol Öğretmenliği(İngilizce)	Marmara Üniversitesi	2014
Lisans	Bilgisayar Mühendisliği	Karabük Üniversitesi	2016
Yüksek Lisans	Mekatronik Mühendisliği	Marmara Üniversitesi	-

5. İş Tecrübesi :

Firma	Pozisyon	Çalıştığı Yıllar
Kontrolmatik	Uzun Dönem Stajer	2013-2014
Enovas Mühendislik	Uygulama Mühendisi	2014-2018
MEF Üniversitesi	Laboratuvar Mühendisi	2018-

6. Uluslararası hakemli dergilerde yayınlanan makaleler

ŞENOL E, KESEN U. Klasik ve Modern Kontrol Metotlarını Karşılaştıran Deney Düzenegi Tasarımı, Uluslararası 30 Ağustos Bilimsel Araştırmalar Sempozyumu, İzmir Türkiye, 2019