T.C.
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MODERN KONTROL LABORATUVARI İÇİN MİKRO DENETLEYİCİ TABANLI DENEY SETİNİN TASARIMI VE UYGULAMA YAZILIMININ GELİŞTİRİLMESİ

Fatih YOLDAŞ

Danışman
Doç. Dr. Ramazan ŞENOL

ISPARTA -2020

© 2020[Fatih YOLDAŞ]

ETİK BEYANI

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak ve bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın hazırladığım bu tez çalışmasında;

Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

15/09/2020

Fatih YOLDAŞ



İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER……i
ÖZET……iii
ABSTRACT……iv
TEŞEKKÜR……v
ŞEKİLLER DİZİNİ……vi
ÇİZELGELER DİZİNİ……viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ……ix
1. GİRİŞ……1
2. KAYNAK ÖZETLERİ……9
3. MATERYAL VE YÖNTEM……17
3.1. Kontrol Laboratuvarı Otomasyonu……17
3.2. C Sharp (C#)……17
3.2.1. C# dilinin özellikleri……18
3.2.2. C# kaynak programının mimarisi……19
3.3. .NET Framework……22
3.4. Microsoft Access……24
3.5. Microsoft Visual Studio……25
3.6. Matlab……25
3.7. Simulink……27
3.7.1. Waijung kütüphanesi……28
3.7.1.1. Target setup blok eklentisi……30
3.7.1.2. Analog dijital dönüştürücü modülü (ADC)……31
3.7.1.3. Basic PWM bloğu……31
3.7.1.4. Uart setup bloğu……33
3.7.1.5. Encoder read bloğu……35
3.8. UART Haberleşme Protokolü……36
3.9. Mikrodenetleyici……38
3.9.1. STM32F4 discovery geliştirme kartı……40
3.10. Elektrik Motorları……43
3.10.1. DC motorlar……43
3.10.1.1. Doğru akım motorlarının kontrolü……45
3.11. Enkoder……49
3.11.1. Artımsal tip optik enkoder……49
3.11.2. Mutlak tip optik enkoder……50
3.11.2.1. Artımlı enkoder çalışma prensibi……51
3.12. Motor Sürücü……53
3.12.1. L298N DC motor sürücü kartı……53
3.13. Arduino……54
3.13.1. Arduino Mega 2560……57
3.14. RFID (Radio Frequency Identification)……58
3.14.1. RFID 13.56 Mhz Kimlik Kartı……58
3.15. RC522 Kart Okuyucu……59
3.16. Röle……60
4. BULGULAR……62
4.1. Mühendislik Eğitimi ve Laboratuvar Çalışmalarının Önemi……62
4.2. Kontrol Laboratuvarı Deney Seti ve Yapısı……62

4.2.1. Elektriksel bağlantı ve kullanılan pinler 63
4.2.2. Sistemin donanımı ve mekanik tasarımı 67
4.2.2.1. Lojik gerilim seviye dönüştürücü devresi 68
4.2.2.2. Gerçek zamanlı saat ve DS1307 entegresi özellikleri 69
4.2.3. DC Motora ait bazı değerlerin hesaplanması 70
4.2.3.1. Kt ve Ke değerlerinin bulunması 71
4.2.3.2. Üretici tarafından paylaşılan atalet momenti değeri 72
4.2.3.3. Sürtünmeye bağlı sabitin (*B)* bulunması 72
4.2.3.4. R değerinin ölçümü 73
4.2.3.5. Endüktansın ölçümü 73
4.2.3.6. Matlab/Simulink ile dakikadaki devir sayısının ölçümü 73
4.2.4. Deney seti için uygulama ve program tasarımı 74
4.2.4.1. Mikrodenetleyicinin programlanması 75
4.2.5. PID kontrolörünün yapısı 76
4.2.5.1. Oransal denetim 76
4.2.5.2. İntegral denetimi 77
4.2.5.3. Türev kontrolör 78
4.2.5.4. PI denetimi 78
4.2.5.5. PD denetimi 79
4.2.5.6. PID denetimi 80
4.2.6. PID denetimi katsayılarının ayarlanması 81
4.2.6.1. PID kontrolü ile DC motor sürme 82
4.2.6.2. DC motor için PID yöntemi ile hız kontrolünün sağlanması 85
4.3. Laboratuvar Otomasyon Sisteminin Tasarımı ve Uygulaması 95
4.3.1. Sistem için izlenen algoritma 95
4.3.2. Sistemin donanımsal alt yapısı 101
4.3.3. Sistemin kullandığı veri tabanı 102
4.3.4. Sistemin yazılımı ve işleyişi 105
4.4. Sistemin Uygulaması ve Test Sürecinin Değerlendirilmesi 108
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 118
KAYNAKLAR 122
EKLER 127
EK A. DC Röle Datasheet 127
EK B. Motor Sürücü Datasheet 127
EK C. Atmega 2560 Bağlantı detayı 127
ÖZGEÇMİŞ 145

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MODERN KONTROL LABORATUVARI İÇİN MİKRO DENETLEYİCİ TABANLI DENEY SETİNİN TASARIMI VE UYGULAMA YAZILIMININ GELİŞTİRİLMESİ

Fatih YOLDAŞ

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ramazan ŞENOL

Bu çalışmada, 32 bit ARM mimarisine sahip STM32F4 mikrodenetleyicisi ile bir deney seti tasarlanmış, simule edilmiş ve geliştirilmiştir. Bu deney seti, kontrol, elektrik ve elektronik laboratuvarında kullanılabilecek, mikrodenetleyici programlamayı uygulamalı bir şekilde öğrenme imkânı sağlayacaktır. Özellikle günümüz teknolojisinde önemli bir yeri olan ARM tabanlı mikrodenetleyiciler, gömülü sistemler üzerine eğitim veren okullarımızda yaygınlaşmaktadır. ARM mimarisini öğrenmek, öğretmek ve test etmek isteyenler için bu çalışmada gerçekleştirilen deney seti, bu alandaki eğitimleri destekleyici özelliğe sahiptir.

Sistem, yazılım ve donanım olmak üzere iki bölümden meydana gelmektedir. Donanım kısmında; DC motorlar için farklı yüklerde PID ile hız kontrolü yapabilen bir deney sistemi ve diğer deney düzeneklerinin bir mikrodenetleyici ile kontrol ve kumandasını uzaktan yapabilen bir otomasyon sistemi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Yazılım kısmında, donanım kısmında kumanda edilen deney setleri için bir yönetici arayüzü ve veri tabanı geliştirilmiştir. Yazılım kısmının geliştirilmesinde Matlab Simulink ve Visual Studio programları kullanılmıştır. Donanım kısmının veri aktarma yöntemi RS-232 veya USB olarak belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında oluşturulan otomasyon sistemine ayrıca farklı deney sistemleri ve donanım eklenebilecektir.

Deney seti, bu çalışmada sürecinde geliştirilen bir arayüz ile kontrol edilebilmektedir. Kullanıcı, arayüz ve kart okuma sistemi ile öğrenci bilgi veritabanı üzerinde oluşturabilmekte ve geliştirilen algoritma ile öğrenci sadece sorumlu olduğu derslere dair deney setlerine erişim sağlamaktadır. Hazırlanan program ve algoritma öğrencilerin yoklama listesini arşivleyebilmekte ve geçmişe yönelik öğrencilerin çalışma süreçlerini takip etme imkânı sunmaktadır.

Geliştirilen iki aşamalı kart okuma sistemi arıza takibi, kimlik yönetimi ve laboratuvar ekipmanı denetimini sağlayabilmektedir. Bu çalışma ile öğrencilerin uygulama derslerinde laboratuvarı daha verimli kullanması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mikrodenetleyici, Laboratuvar, Arm mimarisi, RFID, Deney seti, PID

2020, 146 sayfa

ABSTRACT

M.Sc.Thesis

DEVELOPMENT OF THE MICROPROCESSOR BASED EXPERIMENT KIT AND AUTOMATION OF USE PROCESS FOR A MODERN CONTROL LABORATORY

Fatih YOLDAŞ

Isparta University of Applied Sciences
The Institute of Graduate Education
Department of Electrical Electronics Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ramazan ŞENOL

In this study, an experiment set was designed, simulated and developed with the STM32F4 microcontroller with 32-bit ARM architecture. This experiment set will provide an opportunity to learn microcontroller programming in a practical way that can be used in the control, electrical and electronic laboratory. Especially ARM based microcontrollers, which have an important place in today's technology, are becoming widespread in our technical schools providing education on embedded systems. The experimental set realized in this study for those who want to learn, teach and test ARM architecture has the feature of supporting the studies in these subjects.

The system consists of two parts: software and hardware. In the hardware section; An experimental system for DC motors that can control the speed with PID at different loads and An automation system that can control other experiment sets with a microcontroller have been designed and implemented. In the software section, an administrative interface and database have been developed for the experiment sets controlled in the hardware section. Matlab Simulink and Visual Studio programs were used in the development of the software part. The data transfer method of the hardware part has been determined as RS-232 or USB. Different experimental systems and equipment can be added to the automation system created within the scope of this study.

The experiment set can be controlled with an interface developed in the process of this study. The user can create on the student information database with the interface and card reading system, and with the developed algorithm, the student provides access to experiment sets related to the courses he or she is responsible for only. The program and algorithm can archive the attendance list of the students and offers the opportunity to follow the studying processes of the students.

The developed two-stepped card reading system can provide fault tracking, identity management and laboratory equipment control. With this study, it is aimed that students use the laboratory more efficiently in training courses.

Key Words: Microcontroller, Laboratory, Arm architecture, RFID, Experiment set, PID

2020, 146 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma konusunun belirlenmesinde ve çalışmam süresince karşılaştığım zorlukları aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Doç. Dr. Ramazan ŞENOL'a ve tezim boyunca ilgi ve önerilerini her fırsatta gösteren Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı sayın Prof. Dr. Okan BİNGÖL'e teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmamı ve çalışmalarımı yürütmemde bana laboratuvar imkânı sunan ve desteklerini esirgemeyen Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bucak Emin Gülmez Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon bölüm başkanı Doç. Dr. Ali Özhan AKYÜZ'e, tezin yazılım ve programlama kısımlarındaki önerilerinden dolayı öğretim görevlisi Erkan ATALAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca yardım, bilgi ve tecrübeleri ile bana sürekli destek olan Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümündeki tüm hocalarıma ve tez çalışmam sırasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen babam Alaaddin YOLDAŞ'a, annem Şerife YOLDAŞ'a ve çalışmam sırasında beni hiç yalnız bırakmayan eşim Hatice Betül YOLDAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Fatih YOLDAŞ
ISPARTA, 2020

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. STM32F4 discovery geliştirme kartı ve DC motor ile hazırlanmış deney seti 6
Şekil 3.1. Matlab'ın açılış ekranı 26
Şekil 3.2. Simulink için açılış ekranı 28
Şekil 3.3. Simulink kütüphanesi 28
Şekil 3.4. Matlab/Simulink içerisindeki Waijung blokları 30
Şekil 3.5.Waijung target setup bloğu 31
Şekil 3.6. Analog dijital dönüştürücü (ADC) bloğu 31
Şekil 3.7. Basic PWM bloğu 32
Şekil 3.8. Basic PWM blok parametreleri 33
Şekil 3.9. Uart Setup blok şeması 34
Şekil 3.10. Uart Setup bloğu menüsü 34
Şekil 3.11. Encoder Read blok şeması 35
Şekil 3.12. Encoder Read blok menüsü 36
Şekil 3.13. UART protokolü veri paketi 36
Şekil 3.14. UART haberleşme şeması 37
Şekil 3.15. FTDI UART-TTL dönüştürücü 38
Sekil 3.16. Mikrodenetleyici genel tasarımı 39
Şekil 3.17. Mikroişlemcilerin bileşenleri (CPU) 40
Şekil 3.18. STM32F4 discovery geliştirme kartı 41
Şekil 3.19. DC motorlar temel parçaları 45
Şekil 3.20. PWM sinyalinde bulunan doluluk oranı 46
Şekil 3.21. PWM sinyalinin örnek doluluk oranları 47
Şekil 3.22. 46:1 redüktörlü enkoderli DC motor 48
Şekil 3.23. Redüktörsüz Enkoderli DC motor 49
Şekil 3.24. Artımlı enkoder 50
Şekil 3.25. Mutlak enkoder 51
Şekil 3.26. Artımlı enkoder 52
Şekil 3.27. Örnek bir artımlı enkoderin temel iç yapısı 52
Şekil 3.28. Redüktörsüz motor ve enkoder 52
Şekil 3.29. L298N DC motor sürücü devresi 53
Şekil 3.30. L298N blok gösterimi 54
Şekil 3.31. Arduino Mega pin konfigürasyonu 56
Şekil 3.32. ATmega 2560 mikrodenetleyicisine sahip Arduino Mega 2560 kartı 57
Şekil 3.33. RFID Etikete sahip öğrenci kartı 59
Şekil 3.34. RC522 RFID okuyucu 60
Şekil 3.35. 12V DC röle 61
Şekil 4.1. Kontrol laboratuvarı deney seti 63
Şekil 4.2. STM32F4 Discovery geliştirme kartı ve bağlantı pinleri 64
Şekil 4.3. Uart haberleşme modülü ve kullanılan pinler 65
Şekil 4.4. Gerilim seviyesi dönüştürücü ve bağlantı pinleri 65
Şekil 4.5. Enkoderli DC motor ve bağlantı pinleri 66
Şekil 4.6. Enkoderli redüktörlü DC motor ve bağlantı pinleri 66
Şekil 4.7. L298N DC motor sürücü ve bağlantı pinleri 67
Şekil 4.8. Kontrol laboratuvarı deney seti kısımları 68
Şekil 4.9. Lojik gerilim seviye dönüştürücü devresi 69
Şekil 4.10. DS1307 entegresi devre şeması 70

Şekil 4.11. DC motor elektriksel modeli 70
Şekil 4.12. Motora ait Simulink modellemesi 74
Şekil 4.13. Oransal denetleyicinin birim basamak cevabı 77
Şekil 4.14. Türev denetleyicisi eğim kontrolü 78
Şekil 4.15. Oransal ve integral denetleyiciye dair blok şema 79
Şekil 4.16. Oransal ve türev denetleyici blok şeması 80
Şekil 4.17. PID Tuner sayfa görünümü 82
Şekil 4.18. Geri Besleme elemanına sahip kapalı çevrim denetim sistemi 82
Şekil 4.19. Geri beslemeli PID denetimine dair basit örnek 83
Şekil 4.20. PID denetleyicinin Yapısı 84
Şekil 4.21. DC motor PID hız kontrol yapısı 85
Şekil 4.22. Matlab/Simulink PID hız kontrol yapısı 86
Şekil 4.23. Enkoder düzenleyici 86
Şekil 4.24. Sabit katsayılı PID blok şeması 87
Şekil 4.25. Seri haberleşme için Matlab/Simulink modeli 88
Şekil 4.26. Katsayısı değiştirilebilir PID bloğu 89
Şekil 4.27. Model konfigürasyon parametreleri 90
Şekil 4.28. Host serial blokları kullanımı için örnek tasarım 91
Şekil 4.29. Matlab/Simulink kütüphanesindeki PID denetimi için bir model 92
Şekil 4.30. Matlab/Simulink kütüphanesindeki PID denetleyici menüsü 93
Şekil 4.31. DC motor birim basamak cevabı 94
Şekil 4.32. DC motor PI birim basamak cevabı 94
Şekil 4.33. DC motor PID birim basamak cevabı 94
Şekil 4.34. Laboratuvar otomasyonu ana ekranı 96
Şekil 4.35. Ders ekranı algoritmik gösterimi 97
Şekil 4.36. Laboratuvar düzeni algoritmik gösterimi 99
Şekil 4.37. Yoklama arşivi erişim algoritması 100
Şekil 4.38. Uygulama arşivi erişim algoritması (Öğrenci-masa-cihaz takip) 101
Şekil 4.39. Sistem donanımını oluşturan 3 ana bölümün konumları 102
Şekil 4.40. Sistem donanımını oluşturan yapıların bağlantısı 102
Şekil 4.41. Veri tabanında kayıtlı laboratuvar dersleri 103
Şekil 4.42. Veri tabanında kayıtlı öğrenci listesi 103
Şekil 4.43. Veri tabanına kaydedilen yoklama listeleri 104
Şekil 4.44. Veri tabanına kayıtlı laboratuvar yöneticileri, kullanıcı adı ve şifreler 105
Şekil 4.45. Yoklama arşivi görünümü 106
Şekil 4.46. Laboratuvar düzeni uygulama görüntüsü 107
Şekil 4.47. Uygulama arşivi görünümü 107
Şekil 4.48. Öğrenci kayıt ekranı 108
Şekil 4.49. Emin Gülmez TBMYO elektronik laboratuvarı 109
Şekil 4.50. Laboratuvar otomasyon sistemi genel şeması 110
Şekil 4.51. Öğrencilerin haftalık ortalama uygulama ve deney süreleri 114
Şekil 5.1. Laboratuvar ekipmanlarının arızalanma oranları 123

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Waijung uygulamaları ve kullanılabilecek bloklar 29
Çizelge 3.2. Arduino Mega 2560 geliştirme kartı özellikleri..... 58
Çizelge 4.1. Haftalık deney konuları ve kullanılan cihazlar 111
Çizelge 4.2. Öğrencilerin haftalık deney süreleri..... 112
Çizelge 4.3. Öğrencilerin deney setlerinde çalışma süreleri 116
Çizelge 4.4. Ekipmanların kullanım süreleri..... 117
Çizelge 5.1. Deney setlerinin geliştirilmesi için yapılan türkçe çalışmalar 119
Çizelge 5.2. Deney setlerinin geliştirilmesi için yapılan yabancı çalışmalar 120

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AC	Alternatif akım
DC	Doğru akım
HMI	Human Machine Interface
IoT	Internet of things
I/Q	Input/Output
IP	Internet Protokol
kw	Kilowatt
mA	Miliamper
MAX	Maksimum
MİN	Minimum
NC	Normalde kapalı kontak
NO	Normalde açık kontak
PIC	Peripheral Interface Controller
PLC	Programlanabilir Lojik Kontrolör
PPM	Parts per million
RPM	Dakikadaki devir sayısı
RTC	Gerçek zamanlı saat
V	Volt
%	Yüzde
ºC	Santigrat derece

1. GİRİŞ

Günümüz teknolojisindeki hızlı gelişmeler, motor sürücülerindeki yenilikler, motor imalatında kullanılan yenilikçi manyetik malzemeler, elektrik motorlarının sadece endüstride değil tüm alanlarda kullanımını artırmıştır. Bu artış özellikle DC motorlarda olmuştur.

DC Motor kullanımındaki bu artış, ağırlıklı olarak küçük motorlarda olmuştur. Küçük ve güçlü olan DC Motorların avantajı düşük bakım maliyeti, veriminin yüksek olması ve gürültüsüz çalışmasıdır. Bu özelliklere sahip olması DC motorları endüstrinin ve tüketimin her alanında vazgeçilmez yapmaktadır. Elektrikli araçlar ve güncel teknolojik gelişmeler de göstermektedir ki, DC motor kullanımındaki bu artış sürmeye devam edecektir.

Günümüzde, teknoloji ve uygarlığın ilerlemesi ve gelişmesi kontrol sistemlerinin önemini oldukça artırmıştır. Uygulama ve kullanım alanı geniş bir yelpazeyi kapsayan kontrol sistemlerini konu alan otomatik kontrol dersleri pek çok mühendislik branşının lisans eğitiminde ve birçok teknik ön lisans bölümlerde teorik ve uygulamalı ders olarak yer almaktadır. Sistemlerin kalıcı ve geçici durum davranışları, kök yer eğrileri yöntemi, PID kontrol sistemlerinin tasarımı, Routh-Hurwitz kararlılık analizi, Bode ve Nyquist diyagramları, ayrık-zamanlı sistemlere giriş, ayrık-zamanlı kök-yer eğrileri, Matlab/Simulink simülasyonları, lisans eğitiminde işlenen konulardır ve bu konuların uygulamalarında laboratuvar ortamında donanım ve yazılımlardan faydalanılmaktadır.

Günümüz endüstrisi kontrol sistemleri üzerine kurulmuştur. Endüstride rekabet edebilmek, yüksek kalitede ürünü düşük maliyetler ile üretebilmek kontrole verilen önem ile doğru orantılıdır. Kontrolün kullanım alanı olarak sadece üretim endüstrisi olarak görmek yanlıştır. Kontrol, çevremizdeki nerdeyse tüm elektronik sistemlerde kullanılmaktadır. Örneğin; Klimalar, arabalar, asansörler. Kontrolün günümüzde amacı, ağırlıklı olarak insan gücünden bağımsız ya da insan gücünün etkisini azaltır niteliktedir. Otomatik kontrolün gelişimi, otomasyon sistemlerini doğurmuş ve hayatın her alanında yer etmiştir.

Mühendislik eğitiminde ana unsur, teori ve pratiğin uyumudur, bu da uygulama ile mümkündür. Öğrencinin eğitim aldığı alanda gördüğü uygulama, öğrencinin başarısını doğrudan etkilemektedir. Mühendislik alanındaki alınan teorik eğitim öğrencinin uygulama ile buluşamaması durumunda kalıcılığını ve idrak edilebilmesini sağlayamamaktadır. Bu nedenle her teorik mühendislik eğitimi uygulama ile paralel gitmelidir ki, öğrenciye aktarılan bilgi kalıcı olabilsin.

Lisansüstü ve doktora seviyesindeki akademik çalışmalarda, bir sistemin matematik modeli tasarlanır ve bu model Matlab/Simulink ortamında uygulanıp sonuçları gözlemlenir. Ancak lisans ve önlisans seviyesinde yapılan çalışmaların fiziksel uygulamalar ile pratiğe dönüşmesi çalışmanın geçerliliği bakımından önemlidir. Araştırmacı tarafından geliştirilen algoritmanın Matlab/Simulink ortamındaki çıktıları ile fiziksel ortamdaki çalışmanın çıktısının karşılaştırılması yapılan çalışmanın daha anlaşılır ve faydalı olması adına katkıda bulunur.

Otomatik kontrolün konusu olan algoritmaların fiziksel ortamda uygulanabilir hale gelmesi fiziksel bir deney düzeneği ve bu deney düzeneği ile haberleşme sağlayabilen bilgisayar ile mümkündür. Bilgisayar ve deney düzeneği arasındaki haberleşme bu iş için tasarlanmış kartlar ile mümkündür. Kartların bilgisayar ile iletişimi USB porttan veya seri porttan mümkün olacaktır. Deney setindeki duruma dair verilerin anlık olarak bilgisayara kart aracılığı ile gönderilmesi ya da bilgisayar tarafından komutların deney setine kart aracılığı ile gönderilmesi sağlanır. Deney sürecinde bilgisayardan alınacak veriler ile de akademik çalışmalar uygulanabilir hali alır.

Gömülü sistemler, farklı donanımların uyumlu bir şekilde birleşimi ile ihtiyaç duyulan alandaki işlemleri gerçekleştirmek üzere tasarlanmış yapılardır. Bu yapıların kumanda ve kontrol mekanizmasını mikrodenetleyiciler oluşturur (Ovatman vd., 2010). Gömülü sistemler tasarlanırken imkânlar ölçüsünde bilgisayarlar üzerinden deneyler ve testlerden geçirilir. Bu testlerin sebebi, yazılım ve donanımın maksimum düzeyde uyumlu bir şekilde çalışmasıdır. Bilgisayarlar ile yapılan bu testler, bilgisayar ortamındaki sanal bir simülasyondan oluşmaktadır. Simülasyonların %100 düzeyde fiziksel çalışmayı modelleyebilmesi mümkün değildir. Bu nedenle yapılan tasarım sonrasında reel bir deney düzeneği ile gömülü sistemleri test etmek, eksiklerinin giderilmesini sağlamak ve uygulamaya hazır son halini oluşturmak gerekmektedir.

Mikrodenetleyiciler ve bu alandaki teknik konuları kapsayan dersler göz önüne alındığında mühendislik ve teknoloji fakültelerinde eğitimler uygulamalı olarak verilmektedir. Mikrodenetleyiciler bu dersler için oluşturulmuş deney setleri ile çalıştırılmaktadır. Bu alana dair derslerin uygulamaları için uzun sürelere ihtiyaç vardır. Bunun nedeni, öğrencinin hem donanımın fiziksel bağlantıları hem yazılım kısmının kontrolü ve tasarımı için zaman ayırması gerekmektedir. Eğer bu süre öğrenciye sağlanmaz ise verimli bir eğitim verilmemiş olacaktır. Ayrıca öğrenciye hızlı ve kolay kullanım imkânı sağlayan, kaliteli donanımlara ve yazılımlara sahip mikrodenetleyici deney setleri oldukça yüksek maliyetlidir (Aktan vd., 1996).

Mikrodenetleyici programlamak üzere yapılan eğitim öğretim çalışmaları için yukarıdaki hususlar göz önüne alındığında, deneyler ve test çalışmalarının bilgisayarlardaki simülasyonlar yerine bizzat fiziksel deney setleri ile yapılmasının bir gereklilik olduğu aşikârdır.

Güncel teknoloji karmaşık otomatik kontrol uygulamalarına imkân sağlamaktadır. Bu imkân günümüz bilgisayarları ve mikrodenetleyici teknolojisi ile mümkündür. Motor hızlarının ayarlanması güncel altyapı ile PID denetim sistemlerinden yararlanarak yapılmaktadır. Bu durum PID denetim sistemlerinin kullanımının karmaşık yapılarda olmamasından kaynaklanmaktadır. Doğrusal olmayan sistemler ve zamana bağlı olan karakteristikleri nedeni ile kontrol parametresi belirlenmesi halen pek etkin olmayan teknikler ile yapılmaktadır.

Süreklilik otomatik kontrolün geniş yer kaplayan konularından biridir, süreklilik yani kararlılık konusunun uygulaması basit deney setleri ile mümkündür. Bir transfer fonksiyonu ele alınacak olursa, kutuplar ve sıfırlar; fonksiyonun kapalı çevrim olduğu düşünüldüğünde sistemin K kazancına göre gösterdiği değişim köklerin yer eğrisi yöntemi ile deney setinde görülebilir, aynı şekilde sıfır ve kutup eklenmesinin sistemin kararlılığına etkisi de rahatlık ile gözlemlenebilir.

Endüstri ve otomasyonda sıklıkla kullanılan PID kontrolünün de deney setinin bilgisayar ile çalışması ile mümkündür. Bu çalışmalarda kontrol yapısındaki gelişim, Ziegler-Nichols metodu gibi parametrenin ayarlanarak sağlanabilir. PID Denetleyiciler genellikle kapalı çevrim geri beslemeli kontrol sistemlerinde

kullanılmaktadır. PID denetleyicideki (P) yani oransal parametre var olan hata miktarını, (D) yani Türevsel parametre geçmişteki hata genlikleri toplamını, (I) yani integral parametresi ise geleceğe dair hata genliklerini temsil etmektedir (Batan, 2019), Bu parametrelerin giriş sinyali düzenlemesine uygulanması ile sistemden alınan çıkış sinyalinde başarı elde edilir.

Endüstride sıklıkla kullanılması ve çoğu alanda yer bulması nedeni ile PID denetleyicilere dair oldukça fazla akademik çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar ağırlıklı olarak parametrelerin belirlenmesi adına yapılan araştırmalardır. PID parametreleri sistem kapalı çevrim durumunda iken belirlenmesi için sistemin giriş ve çıkış karakteristiği bilinmelidir. Bu veriler ile sonuca ulaşmayı sağlayan birçok yöntem de vardır. PID denetim sistemlerinin kullanıldığı geri beslemeye sahip kontrol sistemlerinde, PID denetiminin girişi ile sistem çıkışının arasındaki fark hata miktarı olarak kabul edilir. PID denetim sistemi de bu hata miktarını düzeltmek için çalışır.

Açık çevrim ile kontrol, DC motor uygulamalarında pek tercih edilmez. Bunun nedeni; Sabit hızın istendiği ve yükün bağlı olduğu uygulamalarda PWM (Darbe genlik modülasyınu/PulseWidthModulation) ayarı yapmak mümkün değildir, bu nedenle yüklü DC motor uygulamaları için kapalı çevrim ve PID ile hız kontrolü tercih edilir. Kapalı çevrim sistemlerde hız kontrolü, sürekli olarak geri besleme ile mümkündür. Motorun çıkış hızı bir denetim mekanizmasından geçirilir ve besleme gerilimi hesaplanarak tekrar sisteme uygulanır. DC motora uygulanacak olan gerilim PWM tekniği kullanmak mikrodenetleyiciler ile çalışanlar için en uygun yöntemdir. Hız bilgisinin alınması bir enkoder vasıtası ile yapılabilir. Enkoder, mikrodenetleyicinin sistem üzerindeki gözü olur.

Mikrodenetleyicileri oluşturan elemanlar; CPU (Central Processing), PROM (Programmable Read-Only Memory), ROM (Read-Only Memory), EPROM (ErasableProgrammable Read- Only Memory), I/O (input/ output) pinleri, RAM (Random Access Memory)' dir. STM32F4 Discovery Geliştirme Kartı bu donanımları kapsayan mikrodenetleyiciler için kolay erişilebilen ve kolay uygulamalar geliştirilebilen bir örnektir.

Son yıllarda yarıiletken teknolojisindeki gelişmeler ile güç elektroniği için yeni bir çağ açılmış ve motor sürücülerinin kullanım alanı oldukça genişlemiştir. Bu gelişmeler mikrodenetleyiciler için de bir devrim olmuş, maliyetlerinin ucuzlaması, hızlarının artması, enerji tüketiminde tasarrufu sağlamıştır. Önceleri mekanik donanımlar ve pahalı ekipmanlar ile yapılan ve tasarımcının hareket kabiliyetini kısıtlayan uygulamalar mikrodenetleyiciler ile çok düşük maliyetlere ve çok daha hızlı şekilde yapılabilmektedir. Bu avantajlar mikrodenetleyicilerin yaygın kullanımına vesile olmuş, son tüketiciye kadar kullanılabilirliğini sağlamıştır.

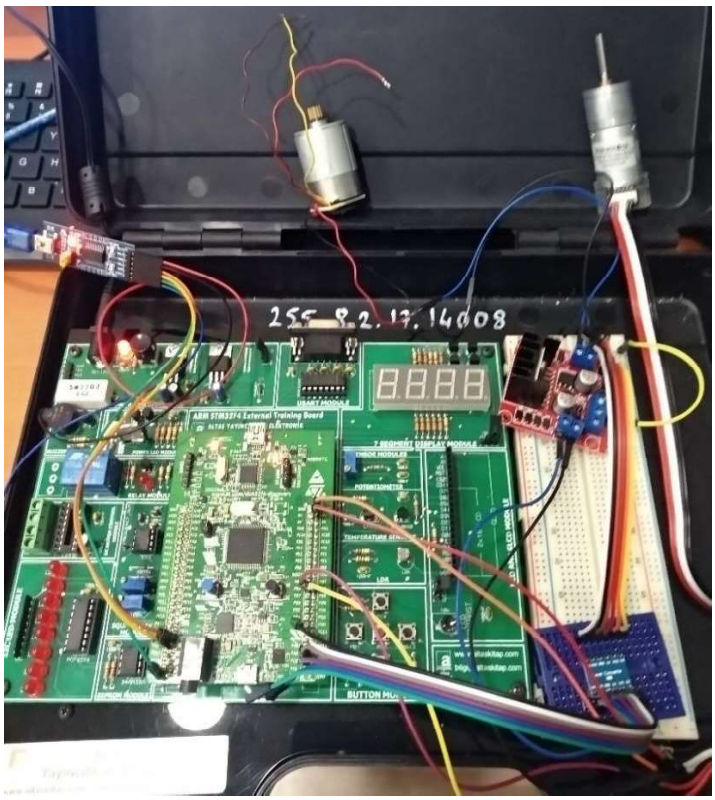
Mikrodenetleyiciler, input-output ve hafıza birimlerini tek bir kılıfta barındırır, bu özelliği; mikrodenetleyicileri, mikroişlemcilerden ayırır. Mikrodenetleyiciler arasında en yaygın kullanıma ARM mimarisi ile tasarlanmış mikrodenetleyiciler sahiptir. Arm tabanlı mikrodenetleyiciler günümüz itibariyle 125 milyarı aşkın uygulamada kullanılmaktadır. ARM mimarisi ile tasarlanan mikrodenetleyiciler, Internet Of Things (IoT) uygulamalarından en yüzeysel kontrol uygulamalarına kadar, derin öğrenme uygulamalarından yapay zekâ uygulamalarına kadar yüksek performansı düşük güç tüketimi ile sunan cihazlardır. ARM mimarisi 64 bit veya 32 bit işlem yapmak için hazırlanmış RISC tabanına sahip bir mikroişlemci mimari yapısıdır. (Arm Limited). Elektronik ve kontrol sektöründe mikrodenetleyicilerin kapladığı pay göz önünde bulundurulduğunda ARM mimarisi bu alanda küçümsenemeyecek bir öneme sahiptir.

Piyasada mevcut bulunan birçok sensör STM32F4 Discovery Geliştirme Kartı ile uyum sağlayabilmektedir. Ayrıca haberleşme protokolleri ve donanımları ile de uyumsuzluk yaşatmayan bir mikrodenetleyici donanımı olması STM32F4 Discovery Geliştirme Kartını çoğu sektör için yenilikçi bir çözüm olarak ön plana çıkarmaktadır. Bu kartın bilgisayara USB portu ile de bağlanabiliyor olması ve bu bağlantı ile Matlab/Simulink üzerinden kolayca programlanabiliyor olması kullanımı için bir neden daha sağlamaktadır.

Bu maksat ile tasarlanmış olan ARM tabanlı otomatik kontrol dersi deney setinde ST Microelectronics firmasının geliştirdiği 32 bit işlem hızındaki ARM mimarisine sahip STM32F4 Discovery Geliştirme Kartı kullanılmıştır (ST Microelectronics 2020).

Otomatik kontrol veya kontrol teorisi dersi müfredatı için hazırlanan deney seti, bu alanda teorik olarak verilen konuları destekler özelliktedir.

Bu çalışmada STM32F4 Discovery arm tabanlı geliştirme kartı Matlab/Simulink ile programlanmıştır. DC Motor ve STM32F4 Discovery Geliştirme Kartı kullanılarak oluşturulan deney seti sayesinde kontrol sistemleri, proses kontrolü, modern kontrol yöntemleri gibi pek çok kontrol içerikli ders içeriğini kapsayan uygulamalar yapılabilmesi hedeflenmiştir. Bu derslerdeki proseslerin anlık olarak görsel takibinin sağlandığı ve etkileşimli öğrenme işlevinin yerine getirildiği bir deney seti uygulaması ortaya koyulmuştur. Kontrol ve otomasyon içerikli dersi bulunan önlisans veya lisans eğitimi gören öğrenciler için düşük maliyetli ve kullanımı kolay bir deney seti oluşturulmuştur. Çeşitli algoritmalar ile mikrodenetleyicinin programlanması kolay bir şekilde Matlab/Simulink ile sağlanmıştır. Matlab/Simulink ile programlanan deney seti sayesinde uygulamalar geliştirmek daha kolay ve daha hızlı bir hale gelmiştir. Matlab/Simulink ile STM32F4 Discovery Geliştirme Kartı arasındaki uyum için waijung blok setinden yararlanılmıştır. Deney seti ile bir DC motorun konum kontrolüne dair uygulama şekil 1.1'de görülmektedir.



Şekil 1.1 STM32F4 discovery geliştirme kartı ve DC Motor ile hazırlanmış deney seti

Tez çalışmasında STM32F4 Discovery Geliştirme Kartı ve Matlab/Simulink programından yararlanarak bir DC motorun gerçek zamana bağlı olarak kontrolü sağlanmıştır. Kontrol sistemi geliştirilirken DC motora bağlı enkoder üzerinden ölçülen hız bilgisi PID denetiminden geçip motoru beslemek üzere PWM sinyali üretilerek motorun hız kontrolü sağlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında hazırlanmış olan deney setinin Matlab/Simulink ile bir benzetimi oluşturularak deney setinde mevcut bulunan motor ile verileri kıyaslanmıştır.

Ayrıca bu çalışma kapsamında geliştirilmiş olan yazılım ve donanım ile ilgili derslere ait uygulama laboratuvarları bir otomasyon sistemine kavuşmaktadır. Geliştirilen yazılım öğrencilerin üniversite kimlik kartları ile uyumlu bir şekilde çalışmakta olup RFID teknolojisi ile ders yoklaması ve kullanılan laboratuvar cihazlarının takibini yapmaktadır. Laboratuvar ortamında yapılan uygulamalar ile oluşan öğrenci verileri, yine bu çalışma kapsamında oluşturulan bir veri tabanına arşivlenmekte ve geçmişe dönük performans izlemesini ve cihazların arıza takibinin güncel olarak yapılabilmesi sağlanmaktadır. Öğrencilerin dönem boyunca yoklama takibi yapılabilmektedir. Öğrencilerin uygulama derslerinde deney setleri ile geçirdikleri süreler izlenebilmektedir. Deney setlerinin sadece gerekli olmaları durumunda kullanılmaları sağlanmaktadır. Gereksiz yere laboratuvar ekipmanlarının kullanımı ve arıza yapmaları minimuma indirilmektedir. Geçmişe dönük olarak arşivlenen veriler, laboratuvar cihazlarının uzun ömürlü ve daha verimli kullanımını sağlamaktadır. Ayrıca tüm laboratuvar işleyişinin tarih, saat ve kullanıcı bilgileri ile kayıt altına alınması laboratuvar uygulamalarında verimi artırmaktadır.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen kontrol laboratuvarı deney seti ve laboratuvar otomasyonunun, ilgili bölümlerde eğitim gören öğrencilere; Internet of Things (IoT) için bir yol gösterici olması hedeflenmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümü; benzer deney seti uygulamaları için kaynak taramalarını ve bu çalışmalardaki deney setlerinin özelliklerini içermektedir. Üçüncü bölüm çalışma kapsamında kullanılmış olan yazılım araçları ve kontrol laboratuvarı uygulamasını gerçekleştirilen deney setini oluşturan donanımların özelliklerini açıklandığı materyal ve metotları ele almaktadır. Dördüncü bölüm sisteme dair bulguları içermekte ve tasarımını yapılan sistemin ana iskeletini ele almaktadır. Ayrıca açıklanan sistemi

temsil eden bir uygulama incelenmekte, uygulamaya dair bulgular değerlendirmektedir. Beşinci bölümde, yapılan bu çalışma neticesinde çıkarılan sonuçlar değerlendirilmiş ve gelecekte bu alanda yapılacak çalışmalar için bir yol haritası çizilmiştir. Ekler bölümünde yapılan deney seti ve laboratuvar uygulamasına dair görüntüler yer almaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Gazi Üniversitesinden (Garip, 2008) doktora tezinde geliştirdiği deney seti alternatör bağlantılarının otomatik olarak paralellenmesini sağlamaktadır. Bu set ile bir uygulama da yapılmış ve etkinliği incelenmiştir. Bu deney setinde LCD'nin yetersiz olduğu ve daha büyük ekran gerektiği, sisteme müdahale edebilme şansının az olması, sistemde meydana gelen arızaların sistem tarafından kayda alınması gerektiği yine tez sahibi tarafından tez içerisinde 152. Sayfada dile getirilmiştir.

Jamieson (2011), çalışmasında, Arduino platformunun bilgisayar mühendisleri ve bilgisayar bilimcileri için gömülü bir sistem öğretimi kursunda kullanımına uygun olup olmadığını araştırmıştır. Bu durumu incelemek için, proje tabanlı öğrenme gömülü sistem kursu için Arduino'nun hangi konuları kapsandığını bazı kaynaklarla da karşılaştırarak tespit etmiştir. Çalışmadaki en büyük tartışma, öğrencilerin gömülü sistemlerin, düşük seviyeli teknik yönlerini tam olarak incelemek yerine, işlerin yapılmasına odaklanmış bir açık kaynak topluluğuna erişebileceğini ve kullanabileceği fikrinde olmaları olmuştur. Ayrıca araştırmacı Arduino'nun açık kaynaklı ve uygulamalarının yeniden kullanılabilir tasarımlar olması nedeniyle bir öğrencinin ne yapacağını saptamakta zorlandığını düşünmüştür. Araştırmacının deneyimlerine göre, gömülü bir sistem kursu için Arduino'nun kullanılmasının, öğrencilerin, yeterli karmaşıklığı kendilerinin çözmesini sağladığını ve Arduino'yu seçtiği için memnun olduğunu dile getirmiştir.

Gazi Üniversitesinden Özbek (2014) yüksek lisans tezinde haberleşme laboratuvarlarında kullanılmak üzere temel düzeyde modülasyon ve demodülasyon konularını uygulamalı işlemeyi sağlayan deney setini tasarlamıştır (Özbek, 2014). Tezin 94. Sayfasında sonuçlar ve öneriler kısmında belirtildiği üzere deney setinin çıkışının bilgisayara aktarım yöntemi değiştirilerek (RS-232 veya USB) modülasyon frekansları arttırılabilir. Bunun haricinde tasarlanmış olan deney setinde verilerin kaydı ve öğrencilerin takibi yapılamamaktadır. Deney seti sadece öğrenciye hitap etmekte ve akademisyenin müdahale etmesine imkân tanımamaktadır.

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesinden Arıcı (2014) yüksek lisans tezinde labview tabanlı bir elektronik deney seti geliştirilmesini incelemiştir. Yapılan çalışmada sistem

ve bilgisayar haberleşmesi seri port üzerinden yapılmıştır. Tez sahibinin tezindeki ifadesine göre; Tasarlanan sistemde mikro denetleyici ile bilgisayar arası haberleşme RS232 standardında, 52600 baud rate hızında, 8N1 formatında seri port üzerinden yapılmıştır. Seri port yerine USB üzerinden bilgisayarla iletişim sağlanarak daha kullanışlı hale getirilebileceği sayfa 55'te belirtilmiştir. Tez sahibinin bu öngörüsü dikkate alındığında tasarlanacak deney seti kullanıcı dostu olan USB bağlantısı ile gerçekleşmelidir.

Shim vd. (2014) yaptıkları çalışmada Arduino ile öğrenciler için kısa vadede bilgisayar bilgisi ve iletişim teknolojisi eğitimi vermişlerdir. Eğitimin amacını temel olarak alınan bilgisayar eğitimini ilerleterek öğrencilerin farklı şeyler keşfetmelerini sağlamak olarak belirlemişlerdir. Araştırmacılar yaptıkları bu eğitimin eğitimsel etkisini analiz etmek için BİT eğitim programına katılan yaşları 13 ila 19 yaş arasında değişen 30 yaratıcılık okulu öğrencisi ile çalışmışlardır. Eğitime katılan öğrencileri üçerli gruplara ayırmışlar ve 10 saat boyunca uygulamalar yaptırmışlardır. Eğitimcileri, bir ana öğretmen ve üç asistan öğretmen şeklinde belirlemişlerdir. Yapılan eğitimde Arduino tabanlı robot montajı, yanıp sönen led, işletim hoparlörü, seri iletişim, kablosuz iletişim için yazılımlar ve robotun otonomisi ve robotun kontrol donanımı gibi uygulamalar yapmışlardır. Araştırmada eğitime katılan bilişim teknolojileri öğrencilerinin ilgi ve tutum değişikliklerini araştırmak için 11 sorudan oluşan anket hazırlanmış ve elde edilen verilerin sonuçları analiz edilmiştir. Bu ankete ek olarak öğrencilerin yine öğrenme ve motivasyon seviyesini incelemek için bir anket hazırlanarak eğitim sonrası uygulanmıştır. Sonuç olarak, araştırmacılar çalışmada, kısa sürede yüksek yararlılığı olan anlamlı bir BİT entegre müfredatı geliştirmişler ve bu eğitime katılan öğrencilerin, 10 yaratıcı görevin %96'sını tamamladığı ve motivasyonlarının yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Barrera (2014) çalışmasında robotik çalışmalara giriş sağlayan bir dizi atölye çalışması konusundaki deneyimini anlatmaktadır. Araştırmada atölyelerde yapılacak olan uygulamalar ve sunulan öğeler hakkında önceden bilgi sahibi olmayan, çalışmanın yapıldığı bölgede bulunan bir grup lise öğrencisi ile çalışılmıştır. Çalışmadaki öğeleri araştırmacı; değişkenler, veri türleri, operatörler, karar / tekrar ifadeleri ve işlevleri, LED'ler ve sensörler gibi bileşenler, DC motorlar gibi donanım bileşenleri ve Arduino ortamı da dâhil olmak üzere C/ C ++ dilinin temelleri şeklinde ifade etmiştir.

Araştırmacı atölye uygulamalarının amacını kolej düzeyinde düzenlenen bir sumo-robot yarışması için robotlar yapmak amacıyla atölye çalışmaları sırasında edinilen bilgi ve becerileri kullanmalarını sağlamak şeklinde belirlemiştir. Sonuç olarak öğrencilerin takım halinde çalışarak, bu becerileri kazandıkları ve yarışmada bu becerileri başarılı bir şekilde kullanarak robotlar yaptıklarını tespit etmiştir. Araştırmacı son olarak düzenlenen atölye çalışması sırasında takip edilen yöntemin, robotiklere giriş konusunda az veya hiç değişiklik yapılmaksızın resmi bir derste kullanılabileceği konusunda önerilerde bulunmuştur.

Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünden Murat AYAZ, Yusuf ÇİLLİYÜZ, Engin ÖZDEMİR ve Koray ERHAN 2014 yılında Erciyes Üniversitesi bünyesinde çıkarılan Fen Bilimleri Enstitüsüne ait Dergide konumuz ile ilgili bir makale yayınlamıştır. İlgili makale PLC ile yapılacak laboratuvar çalışmaları için akademisyen ve öğrenciye kolaylık sunarken, yapılan çalışmanın sadece PLC tabanında kalması uygulanabilirliği düşük kılmıştır.

Günaydın (2014), PIC16F877A mikrodenetleyicisini kullanarak hazırladığı deney setini web sayfası vasıtasıyla uzaktan programlayabilmeyi başarmıştır. Ayrıca programlanan deney setini canlı görüntü aktarımı ile uzaktan izlenebilmesini sağlamıştır.

Sabancı Üniversitesinden Shaikh (2015), yüksek lisans tezinde mikroişlemciler ile laboratuvar ortamında bir sürücü tasarlamıştır. Tezin sonuç kısmında Sayfa 72'de; "The future work of this thesis can include the application of control techniques to other machines such as Stepper motor. It can also include extending this setup to include a web based remote laboratory." İfadesinden farklı motor yapıları için de kontrol çalışmalarının yapılması gerektiği ve uzaktan erişim ile deney setinin daha fazla geliştirilebileceği anlaşılmaktadır.

Medin ve Petric (2015) çalışmalarında elektroniğin ilkelerinden bahsederken elektronik laboratuvarının tasarımı ve inşaasını tanımlamış, böylelikle mikrodenetleyiciler hakkında bilgi sahibi olmalarını amaçlamıştır. Gömülü sistemlerin tasarım ve mimarisinin bir laboratuvar ortamında laboratuvar tasarımı için fizik dersinde temel ölçümlerin öğretilmesinde yeni bir yaklaşım sunulduğunu

belirtmişlerdir. Geliştirilen deney seti ile HD44780 ile uyumlu bir LCD modülü kullanma, ultrasoniksensörler ve ölçüm mesafesi uygulamalarını gerçekleştirmişlerdir. Laboratuvarların ve gömülü sistemlerin etkileşiminin öğrenciler üzerinde güçlü bir etkisi olduğu tespit etmişlerdir. Geleneksel öğretim yöntemi kullanıldığında, öğrencilerin bir sorunun çözümüne doğru yoğun bir şekilde çalışmak için motivasyon eksikliği sergiledikleri ve sıklıkla yanlış anlamalarla uğraştıklarını, diğer yandan derslerin laboratuvara taşınması, elektronik devrelerin ve bilimsel kavramların anlaşılmasında belirgin bir iyileşmeye neden olduğunu vurgulamışlardır.

Alexander ve Radhakrishnan (2015), ARM tabanlı bir mikrodenetleyiciyiApache web sunucusu ile bir endüstriyel PC kullanarak programlamışlardır. Süreci Atmel AT89s52 markalı bir mikrodenetleyici ve Beaglebone Black markalı bir endüstriyel PC ile gerçekleştirmişlerdir. Sistemin canlı olarak uzaktan izlenmesi için de bir web kamerası kullanmışlardır.

Bermudez vd. (2015), Mobil cihazlar ile deney setinin PID kontrolünü test edebilecek bir uygulama geliştirmişlerdir. PID için gerekli parametreler mobil cihaz üzerinden girilebilmektedir. Sistem tasarlanırken Node.js, EJsS ve RaspberryPi'den yararlanılmıştır. Deney seti olarak ta tek rotor ve bir platformun dengelenmesi sağlanmaya çalışılmıştır.

Şimşek (2015) yaptığı tez çalışmasında, Arduino geliştirme kartı kullanarak üç deney modülü geliştirilmiş ve bu deney modülleri sensörlerden ve elektronik motorlardan oluşmuştur. Araştırmacının geliştirdiği bu modül sayesinde kullanıcılar, sensörlerden okudukları değerleri internet üzerinden izleyebilmekte, motorları istediği açı, hız ve yön ile hareket ettirebilmekte ve bu motorları kamera sistemi ile izleyebilmektedirler.

Soriano vd. (2015) çalışmalarında, genç mühendislik öğrencilerine otomatik kontrol giriş derslerine giderek daha fazla yer verildiğini belirterek, öğrencilerin sınıfta incelenen teorik kavramları deneyimlemeleri ve motivasyonlarını arttırmak için laboratuvar çalışmalarına uygun bir platformun bulunmasının kritik bir karar haline geldiğine değinmişlerdir. Yakın zamana kadar yalnızca kapalı platfomların kullanıldığı, ancak günümüzde pek çok açık kaynaklı donanımların bulunduğunu vurgulamışlardır. Çalışmalarında otomatik kontrol giriş dersleri için çok disiplinli,

düşük maliyetli bir açık platform sağlamak için, robotik bir kol manipülatörü ile farklı bir mobil robot tarafından kolayca programlanabilen açık kaynak eğitim platformunun bir örneğini sunmuşlardır.

Herger ve Bodarky (2015) araştırmalarında yaptıkları atölye çalışmalarını ve bu çalışmaları daha etkin hale getirme konusundaki önerilerini paylaşmışlardır. Çalışmada araştırmacılar 7-12. sınıfları ve hatta üniversite öğrencileri arasında değişen sınıf düzeylerine göre özelleştirilebilen çeşitli Arduino projeleri yaratmışlardır. Bu çalışmayı, ArduinoUno, Raspberry Pi, Gemma kitleri ve Flora kitleri aracılığıyla okullarda mühendislik mesleğinin tanıtımını göstermek için tasarlanmışlardır. Araştırmada geliştirdikleri projeleri farklı yaş gruplarındaki öğrenciler arasındaki etkileşimi sağlamak için uyguladıklarını belirtmişlerdir. Sonuç olarak, her deneme modülünde mevcut, beceri seviyesine göre değişebilecek bileşenleri uygulamışlar ve öğrencilerin, giyim veya aksesuar üzerine programlayıp gösterebildikleri donanımla çalışmaktan hoşlandıklarını tespit etmişlerdir. Uygulamanın yapılacağı sınıfların yenilikleri paylaşılabilecekleri, ekip çalışmasını ve akranlarıyla iş birliği yapabilecekleri şekilde gruplar halinde çalışmak üzere kurulması gerektiği konusunda öneride bulunmuşlardır. Ayrıca küçük öğrenci gruplarıyla çalışmanın daha verimli olduğu ve daha fazla zaman ayrıldığında öğrencilerin de farklı materyaller üretebilecekleri konusunda çıkarımlar yapmışlardır.

Merino vd. (2016) Yaptıkları çalışmada, öğrencilere robotik alanında eğitim almalarını sağlayacak bir tasarım geliştirdiler, çalışmalarında belirtildiği üzere tasarlanan cihaz STEM (Science, Technology, Engineering, Matehematics) alanında öğrenciyi uygulamalı olarak geliştirmeyi hedeflemektedir. Hazırlanan deney setinde Atmegamikrodenetleyiciye sahip Arduino geliştirme kartı kullanılmıştır. Bu deney setinin amacı öğrenci motivasyonunu düşük maliyetli bir deney seti ile geliştirmek olarak açıklanmıştır.

Arakliotis vd. (2016) Bir mikrodenetleyiciyi tanıtmışlar mikrodenetleyici programlanmasının öğretilmesi için bir yöntem geliştirmişlerdir. Çalışmalarında bu yöntemi LAWRIS olarak tanımlamış olup, bu yöntem ile mikrodenetleyicilerin programlanmasındaki zorlukları hafifletmeyi hedeflemişlerdir. Yapılan çalışmada incelenen arayüz programlama dilinin karmaşıklığından sistemi sıyırıp daha çok

ladder diyagramlara yönlendirmektedir. Kullanılan mikrodenetleyici ise Arduino UNO olması nedeni ile çok düşük maliyet karşılığında laboratuvar deney seti kurulması başarılmıştır.

El-Abd (2017) Çalışmasında, gömülü sistemler eğitimi konusunda Arduino'nun etkisini incelemiştir. Arduino'nun, okullarda ve üniversitelerde farklı disiplinleri kapsayan kurslarda giderek daha fazla benimsendiğini vurgulamıştır. Araştırmacı birinci olarak gömülü sistemler eğitiminde karşılaşılan zorlukları literatür taraması ile tanımlamış, ikinci olarak, literatürde bildirilen farklı Arduino öğretim bütünleştirme metodolojilerini incelemiş ve analiz etmiş, üçüncü olarak Arduino'nun gömülü eğitim zorluklarını başarıyla ele alıp almadığına dair anket ile elde edilen bulguları tartışmış, son olarak da araştırma ile ilgili önerilerde bulunmuştur.

Irmak ve Calpbinici (2017), FPGA kontrolörü ile hazırladıkları DC motor deney setinde, birden fazla kullanıcının aynı anda yapılmasına imkân veren bir sistem geliştirmişlerdir. Deney setinde Servo motor ve step motor bulunmaktadır. Ayrıca deney seti bir arayüz vasıtası ile eşzamanlı olarak iki ayrı kullanıcı için deney imkânı sağlamaktadır.

Sarıkaş ve Yayla (2017), Arduino UNO kullanarak Labview ile programlanabilen bir deney seti geliştirmiştir. Öğrenci hazırlanan arayüz ile geliştirilen mikrodenetleyici deney setinde deneyini yapabilir ve sonuçlarını takip edebilmektedir.

M. Hudayberdiev'in 13. Uluslararası Intelligent Systems Sempozyumunda, (INTELS'18)'de sunmuş olduğu "Algorithm for the Development of a Training Set that Best Describes the Objects of Recognition" başlıklı makalede laboratuvar cihazlarının akıllı hale getirilmesi için algoritma yöntemleri seçiminden bahsetmiştir.

Akdeniz Üniversitesinden Gülcan (2019) yüksek lisans tezinde uzaktan kontrollü arm tabanlı mikro denetleyici deney seti tasarımı ve gerçekleştirilmesi yapmıştır. Tez sahibinin ifadesine göre tasarlanan bu deney setine, ileriki çalışmalarda geliştirilmek üzere birçok özellik eklenebilir. Örneğin; kullanılan çevresel modüller artırılabilir, kullanıcının aynı anda kontrolünde olan mikro denetleyici sayısı artırılabilir. Hatta tasarlanan web sayfasına bir randevu sistemi kurularak hangi kullanıcıya ne zaman

hizmet verileceği daha önceden kayıt altına alınabilir. Bu tür ek özellikler ile geliştirilecek bir sistem sayesinde kullanıcıların daha kaliteli ve esnek imkânlara sahip deneyleri gerçekleştirme imkânı olacaktır. Bu deney setinde LCD'nin yetersiz olduğu daha büyük ekran gerektiği, Sisteme müdahale edebilme şansının az olması, Sistemde meydana gelen arızaların sistem tarafından kayda alınması gerektiği yine tez sahibi tarafından tez içerisinde dile getirilmiştir.

Arduino' nun sahip olduğu geliştirme ortamının kullanımı ve anlaşılması kolay olduğu için mühendislik uygulamaların yanında eğitimde de kullanımı oldukça yaygınlaşmaya başlamıştır. Eğitimde kodlama derslerinde kullanılabilmekte birçok ilkokul seviyesinde program ile uyumlu olarak çalıştığından genellikle tercih edilmektedir. Bu programlardan en yaygın olanı Scratch adı verilen programdır bu program artık çoğu özel okul ve merkez başta olmak üzere oldukça yaygınlaşmaya başlamıştır. Scratch programı Arduino'da C/ C++ dili ile yazılabilen birçok karmaşık kodu, komut şeklinde seçilerek istenilen uygulamaları gerçekleştirebilme imkânı sağlamaktadır.

Yukarıda belirtilmiş olan açıklamalar göstermektedir ki, teknolojik imkânların artması ve yaygınlaşması ile elektronik ve kontrol laboratuvarları için farklı donanım ve özellikler ile tasarlanmış deney setleri gün geçtikçe artmaktadır. İncelenmiş olan çalışmalar göstermektedir ki, kontrol teorisi dersi ve otomatik kontrole dair uygulamalar laboratuvar çalışmaları ile desteklenmelidir. Ayrıca teknolojinin gelişimi, otomatik kontrolü endüstriye geçmişte olduğundan çok daha fazla adapte etmiş ve otomatik kontrolü endüstrinin vaz geçilmez bir parçası haline getirmiştir. Bu süreçte, bu alanda eğitim gören öğrenciler için otomatik kontrolün önemini artırmıştır. Bu çalışma, endüstride önemli bir yere sahip olan mikrodenetleyiciler için örnek bir deney seti tasarımı yapılmış ve uygulama gerçekletirilmiştir. Ayrıca bu deney setinin öğrenciler tarafından kullanımını takip etmek üzere laboratuvar içi bir otomasyon hazırlanmış, bir arayüz ve veri tabanı oluşturularak öğrencilerin izlenmesi ve takibi hedeflenmiştir. ARM mimarisinin önemi ve avantajları literatürde görüldüğü için mikrodenetleyici olarak deney setinde ARM mimarisine sahip bir ürün seçilmiş, ayrıca laboratuvar içerisinde deney setinin kullanımının takibini arayüz ve veri tabanının kullanımı için farklı bir mikrodenetleyici olarak ta Atmega 2560 seçilmiştir. Deney seti ve laboratuvar kullanımının takibini yapacak sistem ile Otomatik kontrol, PID

denetimi, Nesnelerin interneti (IoT), Endüstri 4.0 ve birçok alanda literatüre katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kontrol Laboratuvarı Otomasyonu

Bu çalışmanın konusu olan Laboratuvar kontrolü ve değerlendirme otomasyonu algoritmaları Microsoft Visual Studio 2010, Visual C# uygulama oluşturma-geliştirme ortamında yazılarak derlenmiş ve test edilmiştir. Görüntü işleme konusunda C programlama dili kendini kanıtlamıştır. Günümüzde gerçekleştirilen birçok akademik ve ticari çalışma C programlama dilinde geliştirilmiştir. Günümüzde C programlama dilinin farklı sürüm ve geliştirilmiş türleri bulunmaktadır. Bu çalışmayı gerçekleştirmek için geliştirilen yazılım algoritmaları Microsoft Visual Studio 2010 C# uygulamasında çalıştırılarak test edilmiştir.

Birçok uygulamada aktif kullanılan Open CV Kütüphanesi ve örnekleri bu çalışmaya başlangıçta ışık tutmuştur. Open Cv kütüphanesi Intel firması tarafından açık kaynak kod ile C dili temel alınarak geliştirilmiş performansı yüksek bir kütüphanedir. Open Cv Kütüphanesi C# dili ile doğrudan çalışamaz. Çünkü Open Cv kütüphanesi C dili için geliştirilmiş ve yazılım kaynakları C dili ile oluşturulmuştur. Bu nedenle ara yüz olarak ya da sarmal diye nitelendirilen ve bu gibi uygulamaların daha özel uygulamalar ile kullanılmasına olanak tanıyan EmguCv Kütüphanesi çalışmada kullanılmıştır. EmguCv kütüphanesi Open Cv'nin tüm fonksiyon ve alt uygulamalarını bünyesine taşımıştır. Ayrıca çapraz platform ve .Net Framework sınıf yapısına uygun geliştirilmiştir. Dolayısıyla C# dili ile kullanılabilmesi ve açık kaynak kod mantığı ile oluşturulmuş olması uygulamamızda görüntü işleme kütüphanesi olarak yer bulmasını sağlamıştır.

3.2. C Sharp (C#)

Yazılım teknolojisi 1950 yılı ve sonrasında başlamış ve günümüze kadar hızla gelişimini sürdürmüştür, günümüzde dahi akıl almaz bir hızla gelişime devam etmektedir. Bu gelişim birçok programlama dili doğurmuştur. Bu diller farklı alanlara hizmet vermeye yönelik geliştirilmiş dillerdir. Nesnelerin kullanımına yönelik çalışmalarda iki dil ön plana çıkmaktadır. Bunlardan biri Java, diğeri C# dilidir. C# dili .net kütüphanesi ile öne çıkmakta ve diğer diller ile uyumlu yapıdadır.

Bu dil C++ ve Java dilleri ile çok benzerlik gösterir. Nesne odaklı bir dil olması günümüzdeki donanım teknolojileri de göz önüne alındığında daha önemli bir hal almaktadır. C# Programlama dili Microsoft firması tarafından geliştirilmiş olup, geliştirilme sürecinde C ve Visual Basic dillerinin nesnelerin kontrolü için olan eksiklerine dikkat edilerek mikrodenetleyici programlamak için en uygun bir dil olarak geliştirilmiştir.

C#'ın çalışma yapısı gereği kodlama öncelikle ara dil ismi verilen parçalar halinde dosyalanır. Dosyalamış hale gelen ara dildeki kodlar ikinci aşamada assembly dilini oluşturur. Assembly dili Microsoft firmasının standardı haline gelmiş bir dildir. Eğer program tam anlamıyla oluşturulmadan denemek veya ara dilde oluşturulan programlar çalıştırılmak istenirse CLR adı verilen sistem MSIL kodlarını çalıştırır.

3.2.1. C# dilinin özellikleri

- Karmaşık ve kompleks bir yapısı yoktur, genel nesne yönetimi amaçlı tasarlanmıştır.
- Strong Type Checking (Zorlanmış yazım kontrolü)
- Array Bound Checking (Dize Sınırı Denetleyici)
- Source Code Portability (Kaynak kodlarında taşınabilirlik)
- Automatic Residual Data Collection (Otomatik Artık Veri Toplama)
- C# dili gömülü sistemler ve sunucular için tasarlanmıştır.
- C# dili Ram, Rom ve işlemci kullanımı açısından tasarımı itibariyle verimli çalışmaktadır. Ancak performansı değerlendirildiğinde C dili veya Assembly ile kıyaslanabilecek düzeyde değildir.

Başlıca C# dili Uygulamaları:

- DLL hazırlama
- Web için servis yazabilme
- Windows için uygulama geliştirme olanağı
- Mobil aplikasyonlar hazırlayabilme (Tablet ve cep telefonları)
- Konsol uygulamalarını geliştirme olanağı

- ASP.NET için uygulama geliştirme olanağı

C# dilinde programlamayı üç farklı aşamada değerlendirilebilir.

1.Kaynak programı yazma:
Oluşturulan algoritmaya uygun kodlar yazılır. Oluşturulan kodlar, C# dilinin formatına uygun olmalıdır.

2.Derleme:
Hazırlanan kod grupları ara dillere dönüştürülür. C# dilinin ara dili IL 'dir. Başka dillerde farklı ara diller kullanılıyor olabilir.

3. Ara dil kod paketlerinin işlemciye uyumlu bir dile dönüşümü:
Hazırlanan ve derlenen programın çalıştırılabilir hale gelmesi için makine diline, yani cihazın işletim sistemine uyumlu bir dile dönüşmesi gerekir. Windows işletim sistemi için programların uzantıları .exe formatıdır.

Uygulamaların pratikliği açısından her konut kodlanarak oluşturulmaz, hazır kütüphaneler kullanılarak programlar oluşturulur, bu kütüphaneler uygulamalara göre tasarlanmış kullanım kolaylığı amaçlayan arşivlerdir. Yazılımcı isterse kütüphaneleri projesine ekleyerek kullanabilir. C# kütüphanesi birçok ihtiyacı karşılayacak bir tasarıma sahiptir. Diğer programların kütüphaneleri farklıda olsa kullanım olanakları mümkündür. C# dilinde yazılan programlar .cs uzantısı ile oluşmaktadır.

C# dilinde hazırlanıp son hale getirilen bir programın Windows işletim sisteminde çalıştırılması mümkündür. Ördeğin labotomasyonu.cs isimli C# dilinde oluşturulan program, makine diline dönüştürüldüğünde labotomasyonu.exe ismini alacaktır. Labotomasyonu.exe dosyasının çift tıklanması programın çalıştırılması için yeterli olacaktır.

3.2.2. C# kaynak programının mimarisi

C# dilinin yazım şekli programda yazılan kodlar bütünü ile oluşmaktadır denilebilir. Örneğin, MessageBox.Show("Kontrol aboratuvarı otomasyonu"); bir kod parçasıdır.

Her kod parçasının bitiminde (;) kulllanılmak zorundadır. (;) kullanılmaz ise derleme hatası kaçınılmazdır. Kodlama yapılırken her kod paketi arasına en azından birer boşluk konulmalıdır. Derleme yapılırken kodlar arasındaki boşluklar tek bir boşluk olarak sistem tarafından algılanacaktır.

Tez kapsamında Laboratuvar otomasyonu için hazırlanan matris işlemlerinde kullanılan metotlardan bir kısım kod parçacığı;

```
class Sınıf1 {
public YeniMetod1()
{
string metin = "metin yazısı";
intplakaNo = 68;
}
}
```

Şeklinde yazılabilir. YeniMetod1 metodu içerisindeki boşluk, tab, satırbaşı karakterleri derleme aşamasında yok sayılacaktır.

Namespace (isimuzayı):
.NET Framework .NET kütüphanelerinin ortak çatısıdır. .NET Framework çatısına dahil olan .NET kütüphaneleri maksatlarına göre isim alanı içerisinde sınıflar, ara yüzler ve modüller bulunur. Bu bölüm namespace olarak isimlendirilmiştir. Örnek olarak System.Data.dll kütüphanesine .NET içerisinde kullanılacak olan veritabanı uygulamalarını geliştirmek için ihtiyaç duyulur. Visual Studio .NET içerisindeki tüm proje şablonlarında bu kütüphane otomatik olarak yer alır. System.Data.dll kütüphanesi içerisinde bulunan isim alanları şunlardır;

- System.Xml
- System.Data.OleDb
- System.Data.Common
- System.Data.SqlTypes
- System.Data

- System.Data.SqlClient

2. Class (sınıf):
Sınıflar nesne tabanlı çalışmalar için çok önemli bir öğedir, programları parçalara bölüp karmaşıklığın azaltılmasını sağlamaktadır.

C# dilinde özellikler ve yöntemler mutlak bir sınıfta olmalıdır. Belirli sayıda komutun bir araya getirilmesi ile yöntem veya metotlar oluşur; değerleri geriye döndürebilir, parametre alabilir. Bellek gözeneklerinin programlamadaki karşılıkları ise özelliklerdir. Bu nedenle özellikleri değişkene benzetilebilir.

3.Bloklar:
Güzel parantez denilen bloklar bir veya birden fazla metot içeren sistemlerdir. Örnek olarak yeni metod isminde bir sınıf oluşturulursa.

```
classyeniSınıf
{
}
```

Bu sınıf bir bloktur. Benzer olarak,

```
publicyeniMetod()
{
}
```

Metodu da bir bloktur. Sınıfların içindeki metotlardan oluşur, yani sınıfların içerisi iç-içe bloklardan oluşur demektir. Sınıflarda iç-içe sınıflardan oluşabilir. Bloklar açılırken { işareti açılır. Kapama işareti }dir. İç-içe boloklar oluşturulurken açma ve kapama işaretleri sayısı aynı olmalıdır. Eğer eksik veya fazla olursa program blok hatası verecektir.

Bloklar ana programı oluşturan parçalar topluluğudur. Programı hazırlayan kişi deneyimli ise iç içe hazırlanan bloklarda boşluklar bırakır ve bir düzen dâhilinde kodları yazar. Program uzayıp gittiğinde kodların karmaşık bir sırada olmaması ve

anlaşılabilir bir düzende olması önem kazanacaktır. Çünkü basit programlar için göz ardı edilebilir bir durum olan düzen, program uzadığında ve karmaşıklaşmaya başladığında hataların bulunması, revizyonların yapılması zorlaşacaktır.

3.3. .NET Framework

Microsoft firmasının geliştirmiş olduğu .NET Framework, bir "uygulama" geliştirme platformudur. Bu"uygulama" geliştirme platformu açık İnternet standartları ve protokolleri üzerine kurulmuştur. Bu ortam uygulamaların geliştirilmesi sürecinde bileşen yönelimini desteklemektedir. Aynı zamanda bu platform farklılık gösterebilecekyazılım dillerinin birlikte çalışmasını mümkün hale getirebilmektedir. Windows platformunda uyumlu ve ortak bir programlama ortamı oluşturur, oluşturduğu bu ortam, güvenlik ve taşınabilirlik de getirmektedir. .NET kütüphanesinin geliştirilme amacı da bu maksatlıdır. Çalışma ortamına program tarafından erişim, bu kütüphane ile sağlanmaktadır.

Yönetilen bir yürütme ortamı olan .NET Framework, çalışan aplikasyonlara farklı hizmet olanakları sağlamaktadır. .NET Framework İki farklı bölümden oluşmaktadır.

- Common language runtime (CLR): Çalışan applikasyonları işleme özelliği olan bir yürütme motoru
- .NET FrameworkKütüphanesi: Geliştiricilerin kendi applikasyonlarından çağırabilecekleri denenmiş, tekrar kullanılabilen kodları sağlayan bir tür kitaplık

.NET Framework aşağıda verilmiş olan hizmet gruplarını çalışmakta olan aplikasyonlara sağlayabilmektedir.

- .NET Framework uygulamalarında CLR, belleği tahsis etme ve serbest bırakmadan ve nesne kullanım ömrü işlemesinden sorumludur. Birçok programlama dilinde, programcılar bu hizmetten sorumludur.

- Geniş kapsama sahip kitaplık: Programcılar çok büyük kapsamlara ulaşmayacak programlar için uzun ve detaylı kodlar yazmak yerine .NET Framework kütüphanesinden diğer üyelerin paylaştığı hazır kitaplıklardan faydalanabilirler.

- Geliştirme teknolojileri ve çerçeveleri: .NET Framework içerisinde bulunan bazı applikasyon geliştirmeye yönelik kitaplıklar;

- Windows Communication Foundation: hizmet odaklı uygulamalar
- ADO.NET: veri erişimi
- ASP.NET: web uygulamaları

- Dillerin arasında çalışabilir olması: Ortak dil çalışma zamanı tarafından çalışma zamanında derlenmiş Ortak Ara Dil (CIL) adında bir ara kod .NET Framework'ü hedefleyen dil derleyicileri tarafından üretilir. Bu özelliğin sağlanması ile programcılar tercih ettikleri dil veya dillerde uygulamalar oluşturmaya odaklanabilir ve tek bir dilde yazılan yöntem farklı bir programlama dili için erişilebilir.

- Yan yana yürütme: .NET Framework, ortak dil çalışma zamanının birden çok sürümünün aynı bilgisayarda bulunmasına izin vererek sürüm çakışmalarının çözümlenmesine yardımcı olur. Bu da uygulamaların birden çok sürümünün birlikte var olabileceği ve bir uygulamanın, oluşturulduğu .NET Framework sürümünde çalıştırılabileceği anlamına gelir.

- Sürüm uyumluluğu: Nadir istisnalar ile, belirli bir .Net Framework sürümü kullanılarak geliştirilen uygulamalar, sonraki bir sürümü üzerinde hiçbir değişikliğe gerek olmadan çalıştırılabilir.

- Çoklu Sürüm Desteği: .NET Framework Taşınabilir Sınıf Kitaplığı'nı hedefleyerek geliştiriciler, Windows 7, Windows 8, Windows Phone ve Xbox 360 gibi çoklu .NET Framework platformunda çalışan derlemeler oluşturabilir.

- Ortak tür sistemi: Geleneksel programlama dillerinde, temel türler diller arası çalışabilirliği karmaşıklaştıran bir derleyici tarafından tanımlanır. .NET Framework'de, temel türler .net Framework tür sistemi tarafından tanımlanır ve .NET Framework'ü hedefleyen tüm diller için ortaktır.

3.4. Microsoft Access

Access, Microsoft firması tarafından geliştirilen bir veri tabanı yönetim sistemidir. Yönetim biçimi ilişkisel olarak tasarlanmıştır. Microsoft tarafından geliştirilen bu program kullanıcı için grafiksel bir ara yüz ve yazılım araçlarını aynı ortamda sunmaktadır. Access veri tabanı yönetim sistemi diğer veri tabanı yönetim sistemlerine göre oldukça yeni bir sistemdir, çok sonra geliştirilmiş olmasına rağmen popüler olmasının ve tercih edilmesinin sebebi; küçük ölçekli veri tabanları için kolay kullanım imkânı vermesidir.

Microsoft Access geliştirilmeden önce Borland (Paradox&dBase) ve Fox firmaları masaüstü veritabanı sektörünün lideri idiler. Microsoft'un 1992'de FoxPro'yu satın alması ve Fox'unRushmore sorgu optimizasyon rutinlerini Access'e dahil etmesi ile Microsoft Access, Windows için baskın veri tabanı haline geldi ve MS-DOS sürecine dahil olmadan rekabeti etkili bir şekilde ortadan kaldırdı.

Access uygulamasında, sihirbazlar aracılığı ile oluşturulmak istenen nesne kolaylık ile sonuca ulaşır. Access iki ana yapıdan oluşmaktadır; bu yapılardan ilkinde hiç kod kullanma ihtiyacı duymadan, sadece sihirbazlardan yardım alarak veri tabanı oluşturulur. Bu yapıda programcılığa dair bilgisi olmayan amatör birisinin bile programlama dillerini öğrenmeye gerek kalmadan kendi veri tabanını oluşturmasına imkân tanır. İkinci yapı programlama dillerine daha vakıf kişiler için tasarlanmıştır, ileri seviyedeki çalışmalar bu kısımda kodlama yapılarak gerçekleştirilir.

Microsoft Access, ilişkisel Microsoft Jet Database Engine isimli Altyapıyı grafik kullanıcı arabirimi ve yazılım geliştirme araçlarıyla birleştiren bir veri tabanı yönetim sistemidir. Microsoft Access, Microsoft Jet Database Engine Altyapısını temel alarak verileri kendi formatında depolar. Ayrıca, diğer uygulamalarda ve veri tabanlarında depolanan verileri doğrudan alabilir veya bunlara bağlanabilir. Yazılım geliştiricileri, veri mimarları ve ileri düzey kullanıcılar, uygulama yazılımı geliştirmek için Microsoft Access'i kullanabilir.

Bu çalışmada Microsoft Access tercih edilmesinin bir diğer sebebi de Visual Basic for Applications (VBA) tarafından destekleniyor olmasıdır. Visual basic nesne tabanlı bir

programlama dilidir. Formlarda ve raporlarda kullanılan görsel nesneler VBA programlama ortamında yöntemlerini ve özelliklerini ortaya çıkarır ve VBA kod modülleri Windows işletim sistemi işlemlerini bildirebilir ve çağırabilir.

3.5. Microsoft Visual Studio

Visual Studio, Microsoft firmasının geliştirmiş olduğu bütünleşmiş geliştirme ortamıdır, sistem daha çok IDE olarak Türkçeye de yerleşmiştir. Açılımı, "Integrated Development Environment" olarak belirtilmektedir. Microsoft Windows'un desteklemiş olduğu platformlarda kod ile birlikte yerel kod vegrafiksel kullanıcı ara yüzü uygulamaları geliştirmek için kullanılır. Desteklediği uygulamalar:

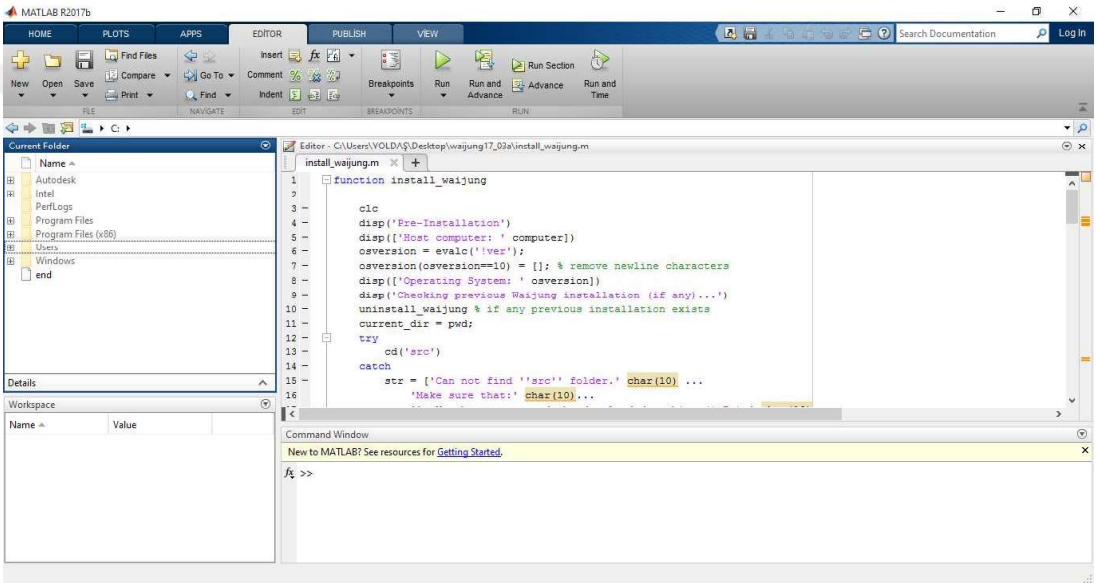
- Microsoft Silverlight
- .NET Framework
- Windows Mobile
- .NET Compact Framework
- Windows CE

Visual Studionun avantajlarından biri çok sayıda programlama dilini destekliyor olmasıdır. Programda bulunan kod editörü ve hata ayıklama sistemi çoğu dil ile uyumlu çalışabilmektedir. Ayrıca Visual Studio'da bulunan ve otomatik olarak tamamlama önerileri sunan bölüme kod editörü üzerinde erişilebilmektedir. Tez çalışmasında Visual Studio kullanılmasının tercih sebebi kullanım kolaylığı ve çalışılacak olan veri tabanı ile ile uyumlu çalışması olmuştur.

3.6. Matlab

Akademik çalışmalar ve mühendislik alanında yapılması planlanan hesaplamalar için geliştirilmiş olan MATLAB programı, bu alanda en yaygın ve en gelişmiş programdır. Bu program 1985 yılında Clever Moler tarafından geliştirilmiştir. Hazırlanmasında Fortran dili kullanılmış ancak ilerleyen süreçlerinde ve gelişiminde C++'tan faydalanılmıştır. Mathworks firmasının ürünü olan bu program sayısal analizler, veri analiz yöntemleri, algoritma ve programları geliştirilmesi, bazı modelleme ve prototip yöntemleri, optimizasyon ve simülasyon için yapay zekâ kullanımı gibi pek çok yönü

olan araçlara sahiptir. MATLAB; Matrix Laboratory'nin kısaltması olaraka hazırlanmıştır (Çiftçi, 2011). İlk geliştirildiğinde amaç matris işlemlerinin kullanan kişilerin kolaylıkla yapılmasını sağlamak iken Matlab'ın geliştirilmesiyle günümüzde basit matematiksel hesaplamalardan karmaşık analizlere kadar çok çeşitli alanlarda kullanılabilecek bir seviyeye ulaşmıştır. Bu nedenle son zamanlarda Matlab daha çok bilimsel araştırmalar için tercih edilen, popülaritesi çok yüksek ve kullanımı bir hayli yaygın yazılımdır. İçerisinde bulunan birçok araçla bir yandan dijital görüntü işlemeyle çalışırken bir yandan da sinyal işleme ile uğraşılabilir. Şekil 3.1'de Matlab'ın açılışekranı gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Matlab'ın açılış ekranı

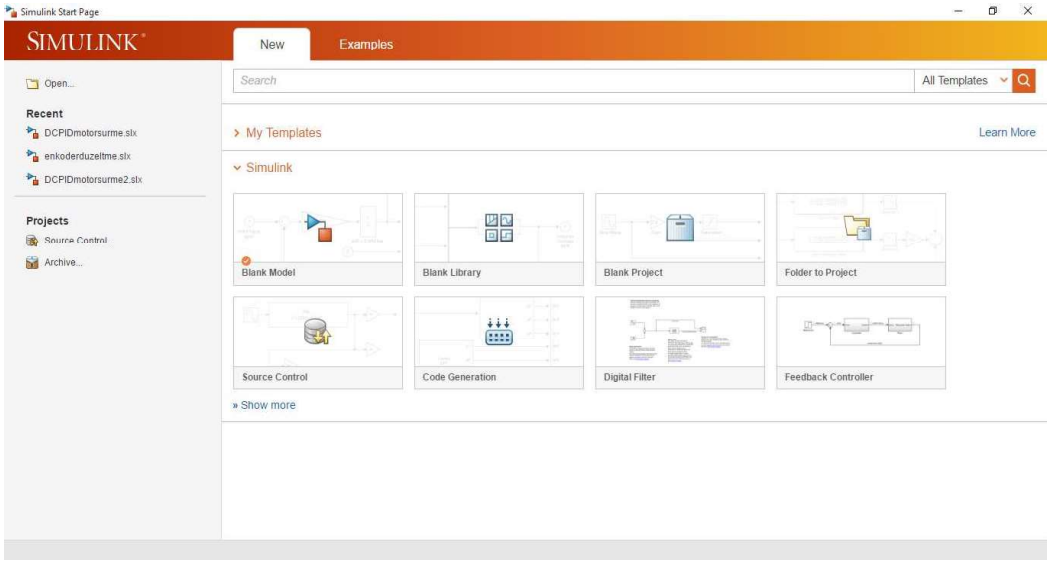
Matlab kullanıcısının Matlab'ı rahatlıkla kullanabilmesi için Matlab pencerelere ayrılmıştır. Command windows penceresi kullanıcının komut girişini sağlayan ve komut girildikten hemen sona çıktı veren bölümdür. Ayrıca script (m file) dosyalarında programın çıktılarının gösterildiği alandır. Bu alanı temizleme için 'clc' yazılması pencerenin temizlenmesini sağlayacaktır. Current Folder penceresi, matlabın herhangi bir anda çalıştığı geçerli dizini gösterir. Bu alanda dosya işlemleri yapılabilir ve geçerli klasördeki dosyalar çağırılabilir. Details penceresi, current folder alanında seçili olan dosyalar hankındaki bilgileri gösterir ayrıca bu dosyalar bu alanda görüntüleyebilir. Workspace penceresi ise değişkenlerimizin tutulduğu, atanan isimlerinin ve değerlerinin gösterildiği alandır. Command windows alanına yazılan clearall komutu ile tüm değişkenler ve değerler alandan temizlenebilir.

3.7. Simulink

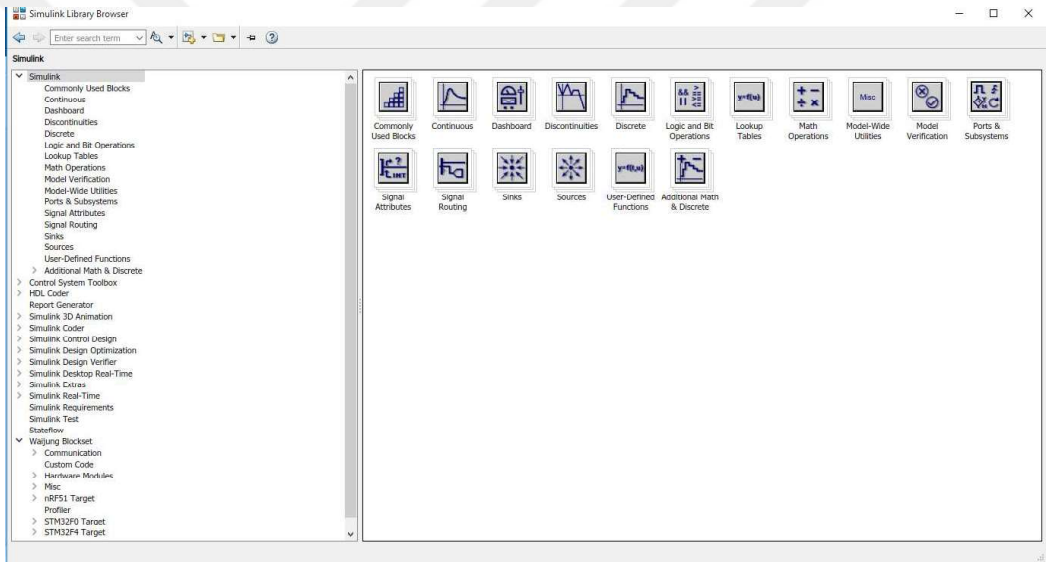
Simulink, dinamik simülasyonlar için sinyal yönelimli grafik programlama ortamıdır. Bloklar sinyallerle bağlanır. Modelde kullanılacak her türlü veri tabanları model içerisine katılır. Geçmişte, dinamik bir sistemin bilgisayar modelini geliştirmeye yönelik ortak bir yaklaşım olarak blok diyagramı ile işe başlanırdı. Daha sonra, blok diyagram bir programlama dilinin kaynak koduna çevrilirdi. Simulink ile, modelin bir programlama dilinde yeniden yazılmasındaki çabaların tekrarlanması ortadan kaldırılır ve programın blok diyagramı olması, programın blok şemasını doğru bir şekilde uygulanmadığı riskini ortadan kaldırır. Simulink, mühendislerin blok şema notasyonu kullanarak dinamik sistemlerin bilgisayar modellerini oluşturmalarını sağlayan bir Matlab eklentisidir.

Bununla birlikte, matematik modeli yapılacak denklemler için Simulink blok kütüphanelerindeki bloklar direkt kullanılabildiği gibi, ortaya çıkan duruma göre kod yazılarak kullanıcı tanımlı fonksiyon blokları da kullanılabilmekte ve gerekirse Matlab ortamında hazırlanan fonksiyonlar ile kullanıcı tanımlı fonksiyon bloğu irtibatlandırılarak birlikte çalıştırılabilmektedir.

Simulink ortamındaki bloklar kütüphanelerde mevcut olduğu gibi, istenilirse modelci tarafından amaca uygun yeni oluşturulan blokların bir araya getirilmesi ile yeni kütüphaneler oluşturularak benzer simülasyonların hazırlanmasında kolaylık sağlanabilmektedir. Şekil 3.2'de Matlab/Simulink'inana sayfası görülmektedir. Şekil 3.3'de ise Simulink Kütüphanesi görülmektedir. Bu çalışmada kullanılacak olan Waijung Kütüphanesi ise bu kütüphanenin alt kollarından biri olacaktır.



Şekil 3.2 Simulink için açılış ekranı



Şekil 3.3 Simulink kütüphanesi

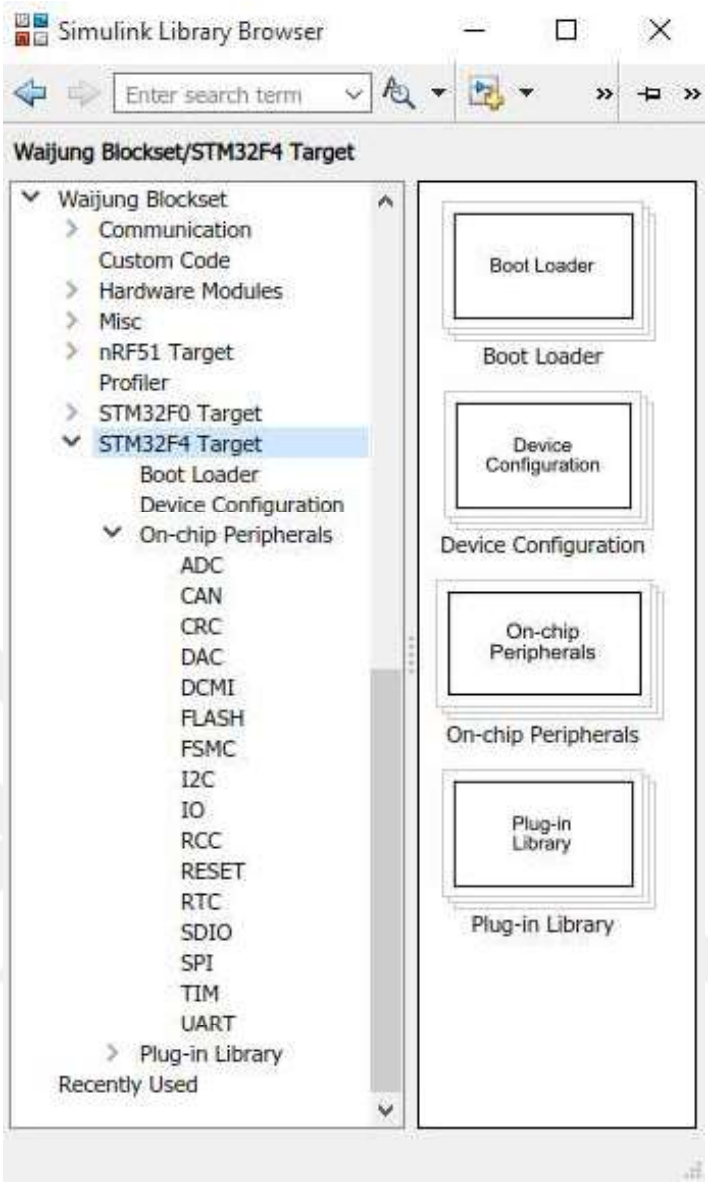
3.7.1. Waijung kütüphanesi

Taylandlı bir araştırmacı tarafından geliştirilen Waijung blok seti, Matlab/Simulink kütüphanesi içerisinde STM32F4 dıscovery geliştirme kartı ile uyumlu çalışma imkânı sağlayan blok grubudur. STM32F4 dıscovery geliştirme kartı, Matlab/Simulink ve waijung blok setinden yararlanarak oluşturulabilecek uygulamalar ve bu uygulamaların tasarımında kullanabilecek bloklar çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Waijung uygulamaları ve kullanılabilecek bloklar

UYGULAMA İSMİ	KULLANILABİLECEK WAIJUNG BLOK İSMİ
Buton ile LED yakma	DigitalInput, DigitalOutput
Sıcaklık sensörü ile ADC çalışması	Regular ADC
Zamanlayıcı uygulaması	Timer IRQ
Potansiyometre ile PWM Dutycycle ayarı	Regular ADC, Basic PWM
Bilgisayardaki seri porttan veri gönderme-alma	UART SETUP, UART TX, UART RX
DC motor enkoder çözünürlüğünün test edilmesi	Encoder Read
DC Motorun yön ve konum bilgilerinin elde edilmesi	Encoder Read, Uart TX
DC Motorların hız ölçümü	Encoder Read, Uart TX, Gain
Host Serial PC Uygulaması	Host SerialSetup, Host Serial RX, Host Serial TX
PID ile DC motor konum ve hız kontrolü	Basic PWM, Encoder Read, Gain, Saturation
Kapalı çevrim ZieglerMichols PID katsayıları ayarlama testi	SliderGain, Host Serialsetup, Host Serial TX
DC Motor yörünge kontrolü	Enabledsubsystem, unitdelay, Switch
Faz ilerlemeli-Faz gerilemeli Denetleyici tasarlayarak DC motor açı kontrolü	Discrete Transfer function, Encoder Read, UartSetup, Uart TX, Gain
Bulanık mantık denetleyicisi ile DC Motor Konum ve hız kontrolü	FuzzyLogic Controller, Encoder Read, UartSetup, Uart TX, Gain

STM32F4 discovery geliştirme kartında uygulaması planlanan Matlab/Simulink modelinin oluşturulması Waijung blok seti içerisinde bulunan “STM32F4 Target” bloğu ile mümkündür. Şekil 3.4.’te “STM32F4 Target” bloğu içerisindeki elemanların bir kısmı görülmektedir. Deney setinde kullanılmak üzere bazı blok elemanları bu çalışmada incelenecektir.



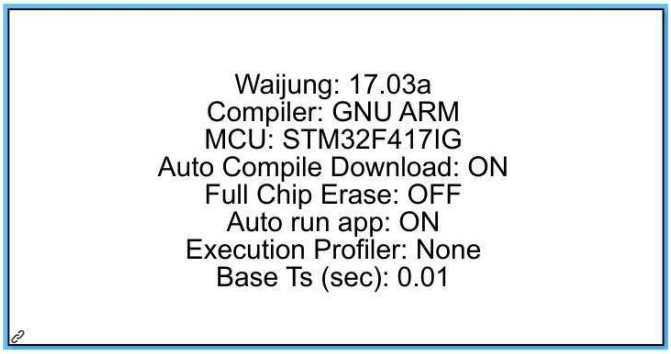
Şekil 3.4. Matlab/Simulink içerisindeki Waijung blokları

Waijung blok seti içerisindeki I2C ve SPI blokları seri veri bağlantısı imkânı sağlamaktadır, bu blokların yanı sıra veri transferinin kontrolünü sağlamak için CAN blokları ile CANBUS uygulaması geliştirmek mümkündür.

3.7.1.1. Target setup blok eklentisi

Matlab/Simulink'te uygulama hazırlanırken uygulama içerisine Target Setup bloğu yerleştirilirse kullanıcının sistemi yapılandırmak için herhangi başka bir şey yapmasına gerek kalmamaktadır. Target Setup bloğu oluşturulmuş olan uygulamanın STM32F4 dıscovery geliştirme kartı içerisine kod satırı olarak dönüştürülüp kaydedilmesini sağlamaktadır. Bu blok tasarımı yapan kişi için büyük kolaylık

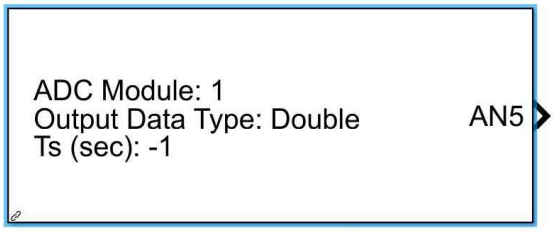
oluşturmaktadır. Bu nedenle Matlab/Simulink'te hazırlanan ve STM32F4 discovery geliştirme kartına gömülmesi planlanan tüm çalışmalar içerisinde Target Setup bloğu bulunmalıdır. Şekil 3.5.'te target setup bloğunun görseli verilmiştir.



Şekil 3.5.Waijung target setup bloğu

3.7.1.2. Analog dijital dönüştürücü modülü (ADC)

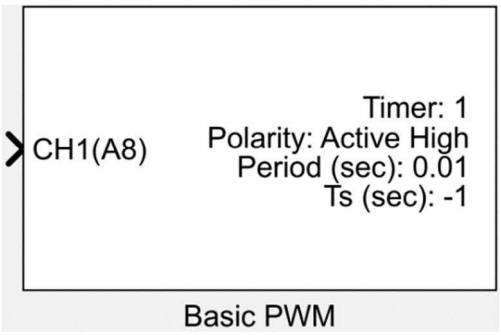
STM32F4 dıscovery geliştirme kartına bağlı veri toplama görevi olan elemanlar üzerinden alınan analog verilerin dijital veriye dönüştürülüp alınmasını sağlayan blok modüldür.



Şekil 3.6. Analog dijital dönüştürücü (ADC) bloğu

3.7.1.3. Basic PWM bloğu

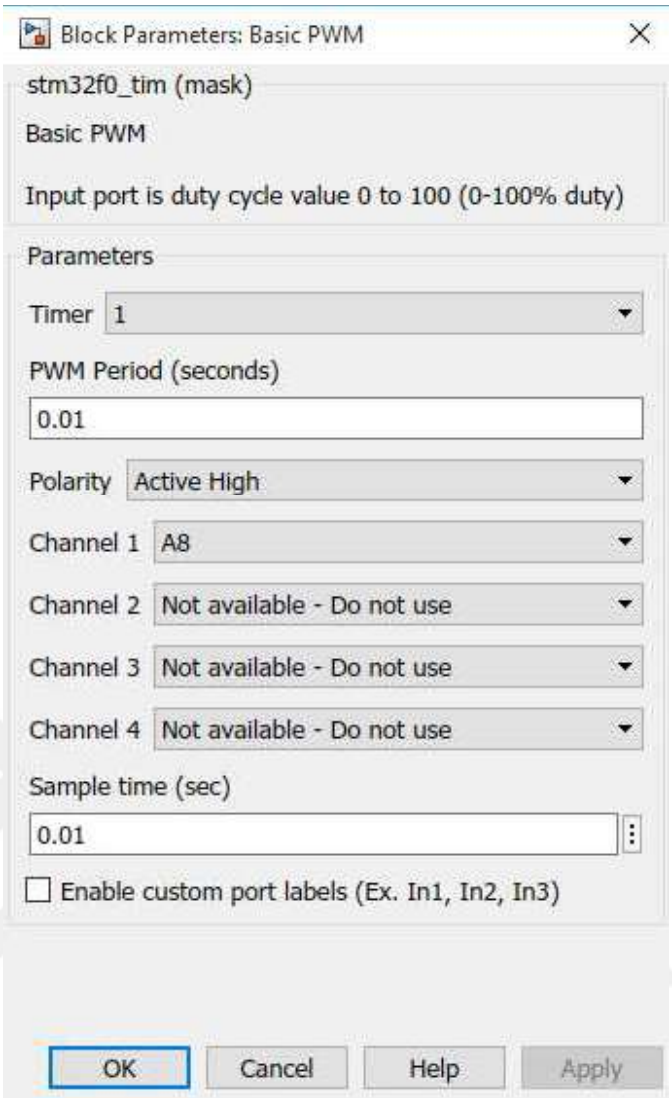
Matlab/Simulink Kütüphanesi içerisinde Waijung Blockset menüsünden şekil 3.7.'te görülen Basic PWM bloğuna erişmek mümkündür. Özellikleri şekil 3.8.'de belirtilen bu blok, ihtiyaç duyulduğunda PWM sinyalinin üretilmesi için kullanılabilir.



Şekil 3.7. Basic PWM bloğu

PWM hakkında bilinmesi gerekenler:

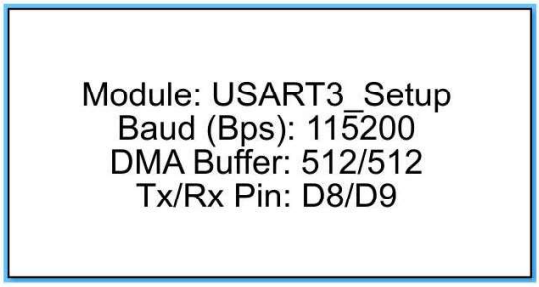
- PWM sinyali; bir Timer ile en fazla 4 çıkış pini için üretilmesi mümkündür.
- Timer'ların her biri 16 bit kapasitededir.
- Uygulama esnasında PWM sinyallerinin periyodunu değiştirmek mümkün değildir.
- Üretilmesi planlanan PWM sinyalinin % değeri belirlenebilir, bu değer sıfır ile yüz arasında değerlerden seçilmelidir.



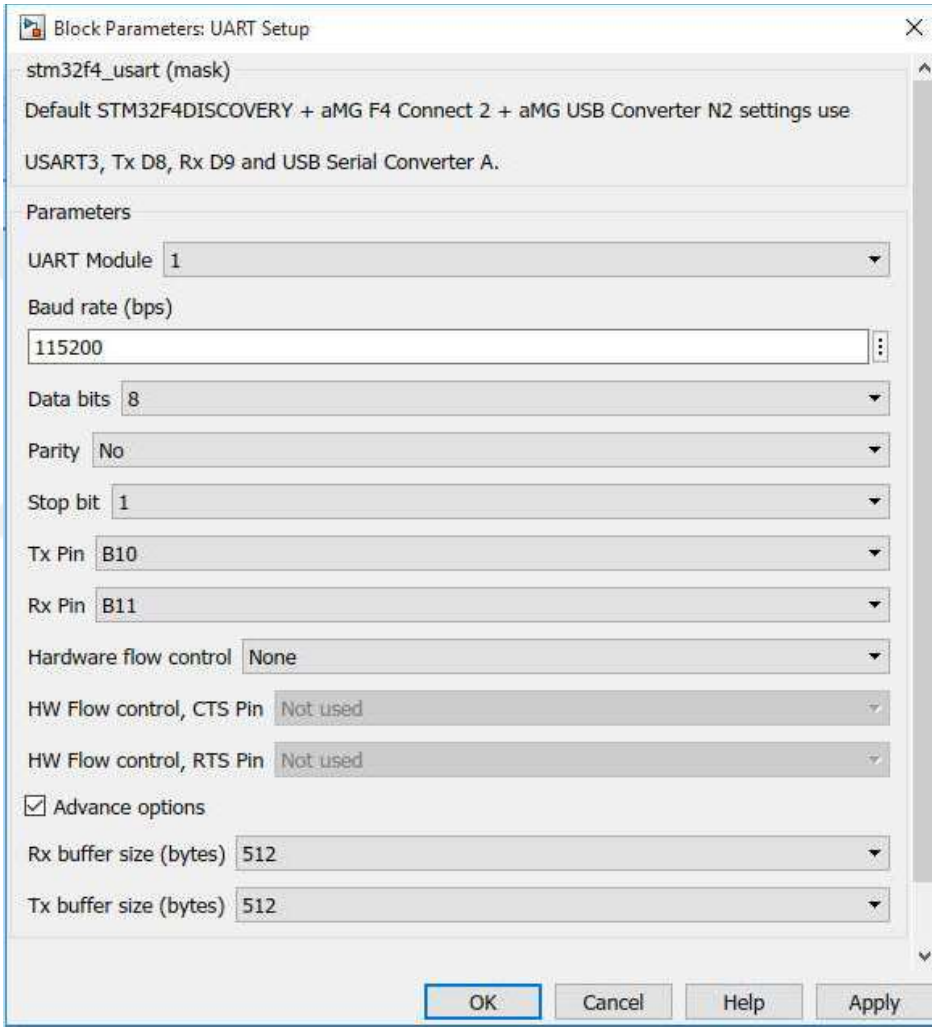
Şekil 3.8. Basic PWM blok parametreleri

3.7.1.4. Uart setup bloğu

Matlab/Simulink Kütüphanesi içerisinde Basic PWM Bloğu ile aynı yerde şekil 3.9.'da görülen UART Setup bloğu bulunmaktadır. Uart modülü ile harici bir cihazla veri alışverişi planlanıyorsa bu blok uygulama içerisinde yer almalıdır. Şekil 3.10.'da bu bloğa dair modül seçimi, haberleşme hızı seçimi, durma biti ayarı, veri transfer pin seçimi gibi özellikler gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Uart Setup blok şeması

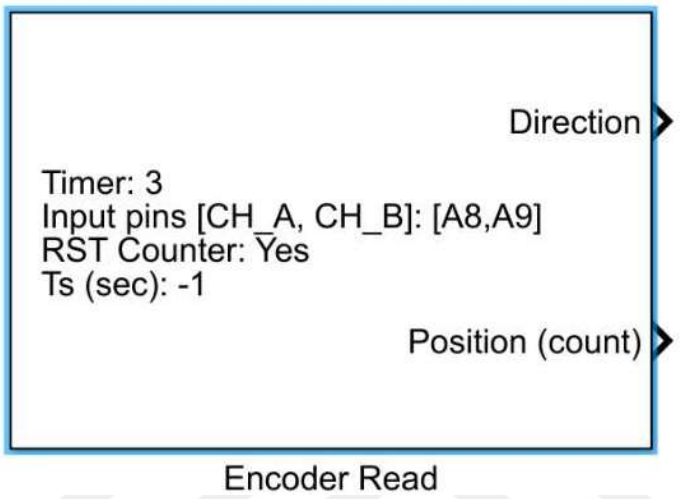


Şekil 3.10. Uart Setup bloğu menüsü

Bilgisayar üzerinden Hyper Terminal veya Docklight gibi arayüz programları ile veri transferi planlanıyorsa STM32F4 dıscovery geliştirme kartının RS232 kademesinde haberleşme imkânı sağlamamasından dolayı FTDI tarzında bir kademe dönüştürücüsüne ihtiyaç duyulacaktır.

3.7.1.5. Encoder read bloğu

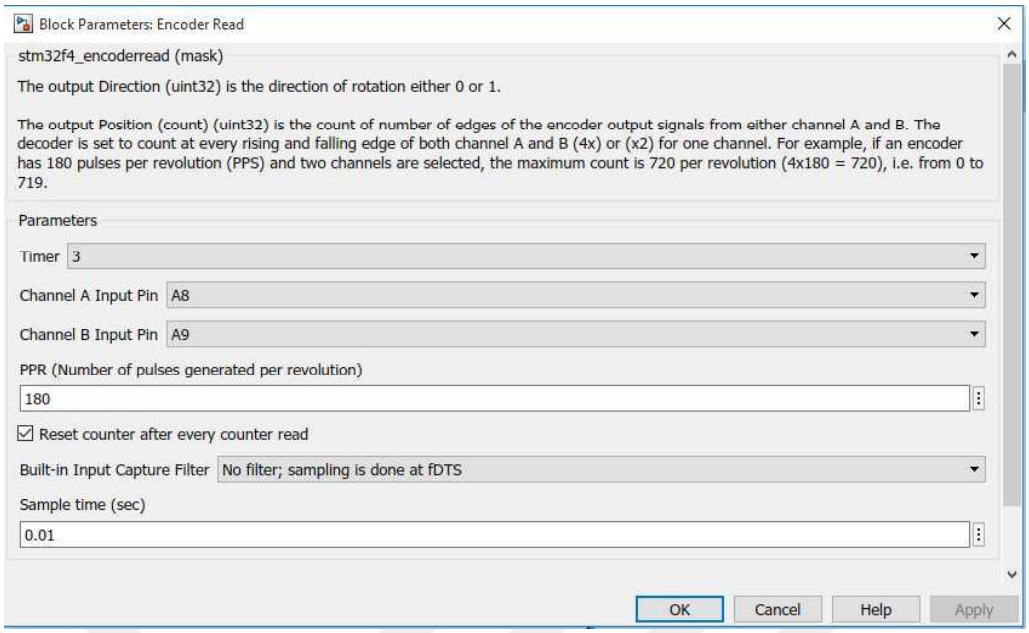
Tez içerisinde bahsedilen diğer Waijung blokları ile aynı konumda şekil 3.11'de görülen Encoder Read Bloğuna erişim mümkündür. Bu bloğun işlevine dair ayarlar şekil 3.12'de görülmektedir. Eğer uygulama içerisinde enkoder çıkışından veri okunmak isteniyorsa bu bloktan yararlanılmalıdır.



Şekil 3.11. Encoder Read blok şeması

Encoder Read blok menüsü hakkında bilinmesi gerekenler:

- Enkoder Read bloğu yön ve pozisyon olarak iki adet çıkış üretebilmektedir.
- Yön verisi olarak 1 veya 0 verisi motorun dönüş yönüne göre üretilir.
- Konum verisi, Enkoder Read bloğuna girişi yapılan PPR verisi ve seçilen kanal değerine göre oluşur. Seçilen kanal sayısı 2 ise; motordaki tam bir tur 4*PPR-1 çıkışı, seçilen kanal sayısı 1 ise; motordaki tam bir tur 2*PPR-1 çıkışı konum bilgisi olarak oluşur.
- Motordaki hızın belirlenmesi istendiğinde "resetcountaftereverycounterread" (her okuma sonrası silme) seçeneği işaretlenmeli ve okuma zamanına bölünmelidir.



Şekil 3.12. Encoder Read blok menüsü

3.8. UART Haberleşme Protokolü

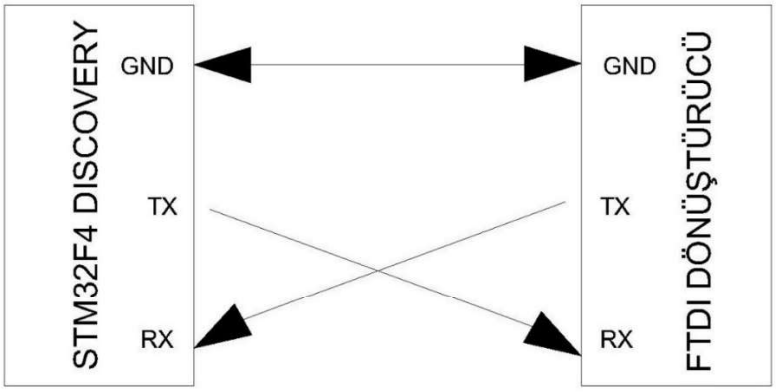
UART protokolü asenkron haberleşme amaçlı yapılmış bir protokoldür. RX Alıcıyı TX vericiyi temsil etmektedir. Bu protokolün bir avantajı da clock sinyaline ihtiyaç duyulmamasıdır. Bu protokol çerçevesindeki haberleşmenin senkron haberleşme ile farkı da buradan gelmektedir. Bu protokol kapsamındaki haberleşme için aktarılacak bilginin başına ve sonuna transferi başlatan veya durduran bitler eklenmesi gerekmektedir. Bu nedenle veri aktarılmadan önce başına başlatma biti ve veri transfer edildiğinde bittiği bilgisini vermek için bitiş biti eklenmektedir. Bu bitler haricinde hataları engellemek amacıyla isteğe bağlı olarak eşlik biti de kullanılabilmektedir. Şekil 3.13 UART protokolüne dair bir paket örneği göstermektedir. (Mutlu ve Sürmeli 2015).

BAŞLATMA BİTİ	AKTARILACAK VERİ	EŞLİK BİTİ	BİTİŞ BİTİ

Şekil 3.13. UART protokolü veri paketi

UART protokolü senkron bir haberleşme yapmadığı için clock sinyali bulunmaz, bu nedenle veri transfer hattında bitlerin ne kadar süre bulunacağı tespit edilmeli, alıcı ve verici arasında bu düzenleme yapılmalıdır. Verinin transfer hızı Baud rate olarak adlandırılır. Baud rate bir saniyede gönderilen bit miktarıdır. Birimi bit persecond, yani

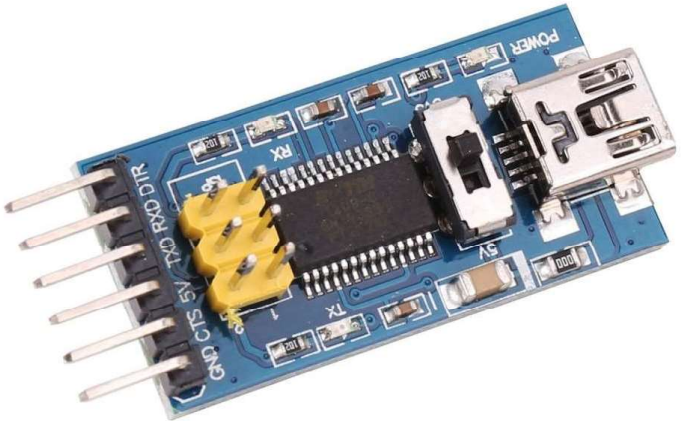
bps'dir. Örnek olarak baud rate değeri 9600 bps seçilmişse, bir saniyede 9600 bit transfer edilecek demektir. İki mikrodenetleyici arasında UART protokolü ile veri transferi yapılacak ise Şekil 3.14'de görüldüğü gibi bir bağlantı şeması izlenmelidir.



Şekil 3.14 UART haberleşme şeması

Bu çalışma kapsamında hazırlanmış olan deney seti içerisinde STM32F4 Discovery geliştirme kartı; UART Protokolü ile hazırlanan verinin USB dönüşümünü yapabilecek donanıma sahiptir. Ancak deney setinin mutlak bir parçası olan STM32F4 Discovery geliştirme kartının herhangi bir zarar görmesi istenmediği için ve mikrodenetleyiciler ile yapılacak her çalışma için bu protokolün bilinmesi gerektiği düşünülerek harici bir USB-seri port dönüştürücü kullanılmıştır (Şekil 3.15). Bu dönüştürücünün özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- USB-Seri port dönüştürücü
- FT232RL entegre
- USB-TTL dönüştürücü
- 3.3V ve 5V mikrodenetleyici kartları ile uyumlu
- Mini USB B tipi konnektör



Şekil 3.15. FTDI UART-TTL Dönüştürücü

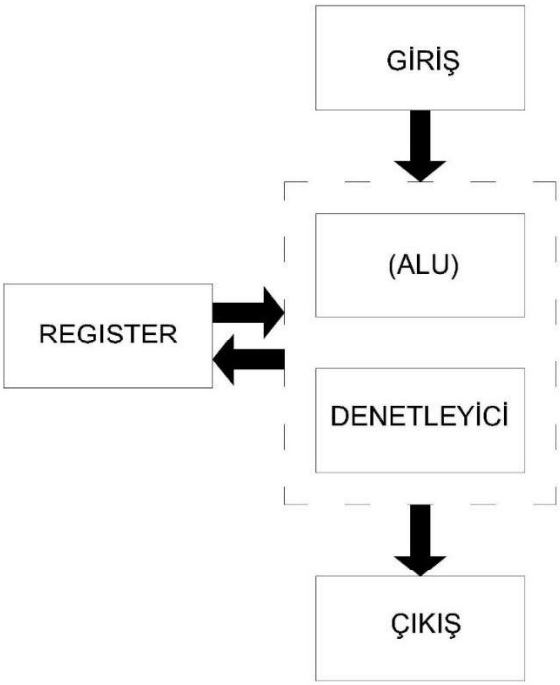
3.9. Mikrodenetleyici

Günümüz teknolojisinde yaşanan yenilikler ve hızlı değişim mikrodenetleyicilerin gelişmesine, mikrodenetleyicilerdeki hızlı gelişim ise teknolojideki gelişimin ivmelenmesine neden olmuştur. Mikrodenetleyicinin yapısı bilgisayarın yapısı ile benzerdir. 1960'lı yıllarda bilgisayarların maliyetleri ve hacimlerinin büyük olması sebebi ile sadece büyük firmalar ve kamuya ait araştırma yapan tesislerde bulunmaktaydı. Ancak günümüzde; transistor ve yarıiletken teknolojisindeki gelişmeler neticesinde 1960'lı yıllardaki bir servet değerindeki bilgisayarlardan çok daha hızlı ve işlem kabiliyeti daha yüksek mikroişlemciler bir cebe girebilecek büyüklüktedir. Mikroişlemci ve yardımcı donanımları kullanarak tasarlanan ve endüstrinin her alanında kullanılabilen cihazlar ise mikrobilgisayar veya mikrodenetleyici olarak isimlendirilmektedir.

Endüstri şu an on yıl öncesine göre çok daha hızlı çok daha güçlü ve çok daha kontrol odaklı mikrodenetleyiciler ile çalışmaktadır. Mikrodenetleyicilere yani dijital kontrole olan bu talebin sebebi, sistemin maliyetinde sağladığı tasarruf ve yüksek kalite ve hassasiyette ürüne ulaşılabilmesini sağlamasıdır. Analog kumanda ve kontrol sistemlerinin aynı hıza aynı kaliteye ve aynı sürekliliğe ulaşması aynı maliyetler ile imkânsız görünmektedir.

Mikrodenetleyiciler assembly dili ile çalışmaktadır. Tasarlanan çalışmayı mikrodenetleyiciye kaydetmek istendiğinde bu dil ile kaydetmek gerekmektedir. Ancak bu dil ile kayıt yapmak herkes için uygun ve kolay bir çözüm değildir. Bu

sebeple farklı yöntemler ile tasarlanan programları veya sistemleri mikroişlemciye assembly diline dönüştürüp aktarmaya derleme denir. Bir mikrodenetleyiciye dair genel yapı şekil 3.16'da görülmektedir.

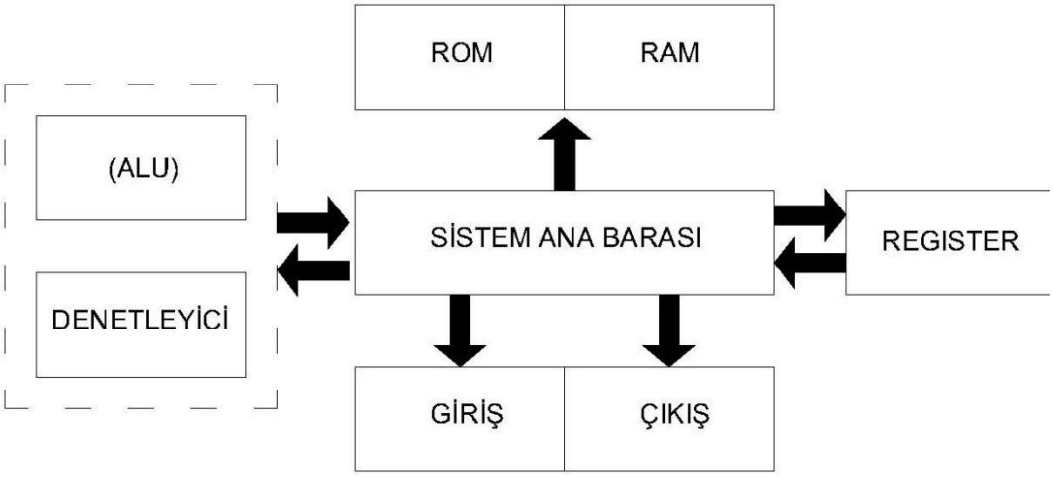


Sekil 3.16. Mikrodenetleyici genel tasarımı

Şekil 3.16'de görülen GİRİŞ sisteme veri girişinin yapıldığı bölümdür, herhangi bir sensör, buton, mikrofon olabilir. ÇIKIŞ ise sistemde mikrodenetleyiciye gömülü program ile işlenen verinin çıkışıdır, bu kısıma da monitör, ekran, hoparlör veya bir motor bağlanabilir. Giriş ve çıkış birimleri çevre birimi olarak adlandırılır.

CPU (Merkezi İşletim Birimi /Central ProcessingUnit): Mikrodenetleyici ve oluşturulan sistemin ana merkezidir. Registers, ALU ve bazı denetim hatlarından meydana gelir. Hafızadan gelen komutlar ile gerekli işlemleri yapar. Farklı bölümler ile iletişim halindedir. Şekil 3.17'de ana hatlarına dair şema verilmiştir. ALU (Aritmetik Mantik Birimi/ArithmeticLogicUnit): Aritmetik dört işlem ve mantık (AND, OR, EXOR) işlemlerini yapan birimdir.

Register: CPU çalışır halde iken geçici veya kalıcı olabilecek şekilde kaydedilmesi gereken verilerin saklanmasını sağlayan birimdir.



Şekil 3.17. Mikroişlemcilerin bileşenleri (CPU)

Sistem gerilimi ve akımıyla ilgili analog işaretler, A/D (analog/dijital) çeviriciler kullanılarak dijital sinyallere dönüştürülürler. Bu bilgiler Mikrodenetleyici tarafından alınmaktadır. Elde edilen bilgiler bir kontrol algoritmasından geçirilerek sürücü devredeki anahtarlama elemanları için gerekli kontrol işaretleri Mikrodenetleyici tarafından üretilmektedir. Aynı zamanda sayısal kontrol sistemlerinde ölçülemeyen büyüklükler, ölçülen büyüklükleri kullanarak yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilebilmektedir.

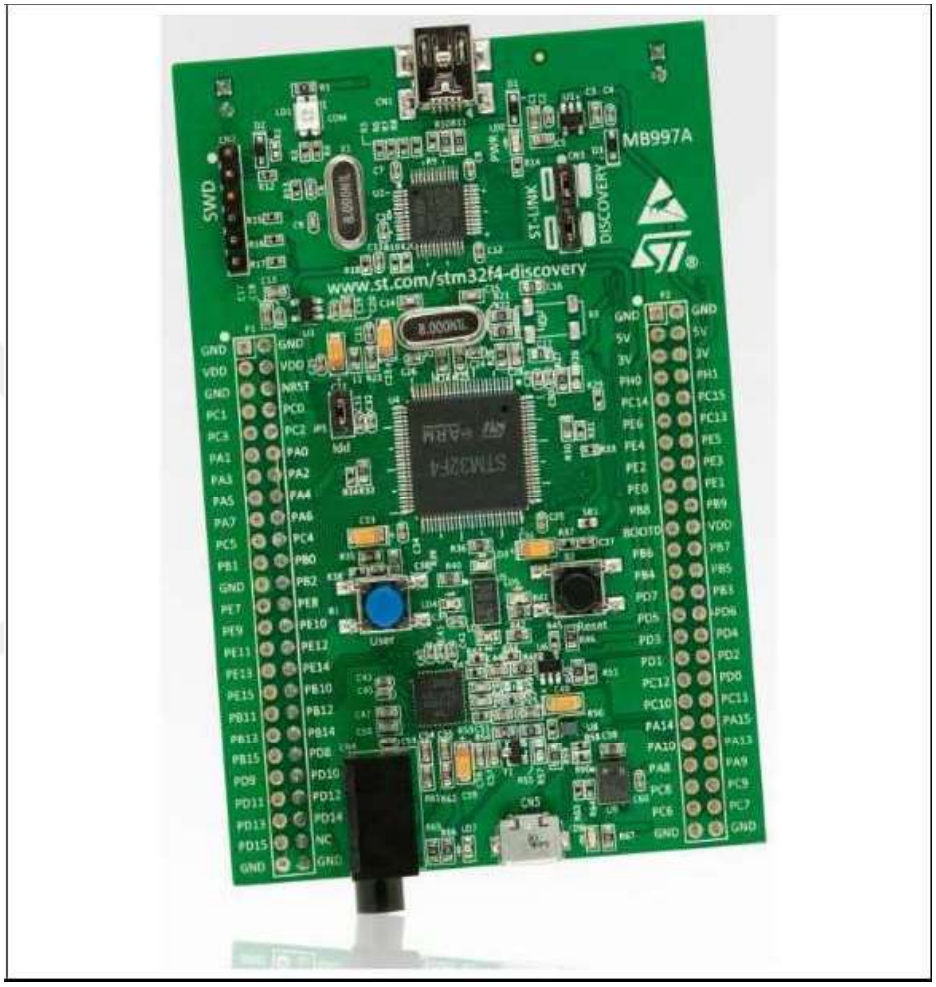
Bazı modern kontrol yöntemleri, analog devrelerle gerçekleştirmek çok zor olmakta veya mümkün olmamaktadır. Bu gibi durumlarda mikrodenetleyicilerin kullanılması büyük kolaylık ve çalışma esnekliği sağlamaktadır. Bir tasarımcı için donanım yerine yazılımı değiştirmek suretiyle kontrol sisteminde değişiklik yapmak önemli bir özelliktir. Bu şekilde ayni sistem için değişik kontrol algoritmalarını uygulamak mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada DA motorunun hız kontrolün de mikrodenetleyici tabanlı kontrol sistemi kullanılmıştır. Hız bilgisi alınırken bir enkoderden yararlanılmıştır.

3.9.1. STM32F4 discovery geliştirme kartı

ST Microelectronics firmasının üretmiş olduğu STM32F4 discovery geliştirme kartının (Şekil 3.18) kullanımı yaygın ve bulunması kolaydır, bunun nedeni düşük

maliyetli olması ve ARM tabanlı yüksek performansa sahip olmasıdır. Farklı bir açıdan değerlendirmek gerekirse, waijung blokseti aracılığı ile Matlab/Simulink üzerinden programlanabilmesi araştırmacıyı kod yazmaktan kurtarmakta ve hızlı sonuca ulaştırmaktadır. Bu kart yüksek performansı düşük güç tüketimi ile sağlamayı hedeflemektedir.



Şekil 3.18. STM32F4 discovery geliştirme kartı

STM32F4 discovery geliştirme kartı içerisinde ARM işlemcisi barındırmaktadır ve içerisinde 32 bit ARM® Cortex®-M4 FPU çekirdekli STM32F407VGT6, 168 Mhz bir mikrodenetleyici bulunmaktadır. ARM işlemciler 32Bitlik bir yapıya sahiptir, bu özellik de bu işlemciyi 8 Bitlik işlemcilere göre oldukça hızlı hale getirir. Cortex-M4 sayısal işaret işleme (Digital Sign Processing) fonksiyonlarını içeren bir mimari yapıdır.

Stm32f4 dıiscovery geliştirme kartı üzerinde bulunan USB girişleri ile bilgisayar ile haberleşebilmektedir. Kart üzerinde 100 adet input-outputpini, 4 farklı renkte Led, 1 diital mikrofon, 24bit ADC ve kulaklık girişi bulunmaktadır. Bu donanımlar; kartın DigitalSignProcessing (DSP) ve ses uygulamalarında kullanılabilmesini sağlar. Ürün ayrıca LQFP100 kılıfında 1 Mb Flash bellek, 192 KbRAM'e sahiptir. Bu özelliklerin haricinde farklı donanımlara da sahip olan modül için özellikler aşağıda listelenmiştir (ST Microelectronics 2020).

- Yeniden numaralandırma özelliğine ve üç farklı arabirime sahip USB ST-LINK: Hata ayıklama bağlantı noktası, Sanal Com bağlantı noktası, Yığın depolama
- Güç girişi: 5V Besleme veya USB
- Güç girişi (Harici): 3V ve 5V
- İvmeölçer (3 eksenli, LIS3DSH ST MEMS veya LIS302DL)
- Ses sensörü (MP45DT02 ST-MEMS)
- Sayısal mikrafon
- D sınıfı (Entegre)hoparlör sürücüsüyle CS43L22
- 4 ile 26 MHz arası harici kristal osilatör desteği
- Dahili 16 MHz RC osilatör
- RTC için dahili 32 KHz RC osilatör
- 3 kanal 12-bit 2.4 MSPS A/D dönüştürücü, 24 kanala kadar 12-bit 7.2 MSPS
- 2 kanal 12-bit D/A dönüştürücüsü
- 16 kanal DMA kontrolcüsü
- 17 adet Timer modülü
- 3 adet I2C, 4 adet USART, 2 adet UART, 3 adet SPI, 2 adet CAN haberleşme arayüzü ve USB 2.0 desteği
- Sekiz LED:

- LD1 (kırmızı / yeşil): USB iletişimi
- LD2 (kırmızı):3,3 V güç
- LD3 (turuncu): kullanıcı LED'i
- LD4 (yeşil): kullanıcı LED'i
- LD5 (kırmızı): kullanıcı LED'i
- LD6 (mavi): kullanıcı LED'i
- LD7 (yeşil): USB OTG LED

- LD8 (kırmızı): VBUS ve aşırı akım
- İki push-button (Reset ve set için)
- USB OTG FS: Micro-AB konektörlü
- Kolay problamave prototipleme kartına hızlı bağlantı amacı ile tasarlanmış LQFP100 I/O'lar için uzatma klemensi

3.10. Elektrik Motorları

Elektrik motorları günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren makinelere elektrik motorları denir. Çalışma gerilimlerine göre:

- Doğru Akım Motorları
- Alternatif Akım Motorları

Olarak iki şekilde gruplandırılmaktadır. Alternatif akım motorları AC gerilimi, doğru akım motorları ise DC gerilimi ile çalışır. Bu çalışma kapsamında Encoder ve redüktörlü DC motorlar ele alınmıştır.

3.10.1. DC motorlar

DC Motorlar DC gerilimi ile çalışırlar. DC Motorlara doğru akım verildiğinde çıkışından mekanik enerji elde edilir. Doğru akım motorlarının hızlarının kolay kontrol edilebilmesi sebebi ile birçok alanda kullanılmaktadır. Doğru akım motorlarında akımla beslenen kolektörden zamanla kıvılcım çıkma olasılığı olduğu için kullanım esnasında yangın çıkabilir. Bundan dolayı DC Motorlar hassaslık gerektiren bazı alanlarda kullanılmaz. Bu durumda DC Motorların dezavantajı olarak ortaya çıkmaktadır.

DC motorlar gerilimin verilmesiyle elektromekanik enerji dönüşümünde kullanılmaktadır. Eğer üzerinden akım geçen bir iletkenin bir manyetik alan içerisinden geçirilirse iletkene bir kuvvet etki eder. Sol el kuralıyla da bu kuvvetin yönü belirlenir. DC Motorların içerisinde bulunan iletken tel ile DC bir voltaj uygulanmaktadır. Bu tel motorun içerisindeki manyetik alanın da içerisindedir. Bu

iletken telden akım geçirildiği zaman, ortaya çıkan kuvvetin etkisi ile dönme başlar. Eğer bu akım ters yönde olursa, motorun dönüş yönü de ters yönde olur.

- Manyetik alan içerisinde bir iletken hareket ettiğinde iletkende gerilim indüklenmiş olur.
- Manyetik alan içine akım taşıyan bir iletkenin konulması ile iletkende mekanik bir güç meydana gelir.

DC Motorlarda elektrik enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülmesi veya tam tersi olarak mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi eşzamanlı olarak meydana gelir. Motor, manyetik alan içerisine akım taşıyan iletkenlerin yerleştirilmesi ile oluşturulan bir elektromekanik elemandır. Bunun sonucunda motorda bir güç ortaya çıkar.

DC Motorlar 6 temel parçanın birleşiminden oluşur. Bu parçalar stator, aks, komütatör, rotor (armatür), uyarma mıknatısları ve fırçalardır. Stator, motor gövdesi içerisindeki ve 2 ya da daha fazla manyetik kutup içeren DC Motorun sabit bir parçasıdır. Aks ve komütatör ile beraber dönen kısım ise motorun dönen parçasıdır. Rotorun üzerinde bulunan sargıların komütatör ile bağlantısı vardır. İlk enerji verilmesi ile birlikte fırça, komütasyon kontakları ve rotor sargılarının yeri doğru konumda değil ise rotor doğru pozisyona gelene kadar dönecektir. Rotor doğru konuma geldikten sonra fırçalar daha sonraki komütasyon kontağına doğru, diğer sargıya enerji vermek için gidecektir. Şekil 3.19'da bu çalışma kapsamında kullanılan DC enkoderli motorun rotoru ve fırçaları görülmektedir

İki kutuplu DC Motorlarda motorun dönmesi ile rotor sargılarının içerisindeki akım yönünü değiştirir ve bu durum manyetik alanın da yönünün değişmesi ile dönme hareketinin devamı sağlanmış olur.



Şekil 3.19. DC Motorlar temel parçaları

3.10.1.1. Doğru akım motorlarının kontrolü

Doğru akım motorlarında hız, alternatif akım motorlarına göre dış etkenlerden daha az etkilenir. Belirli bir hız değerinde çalışması istenen sistemlerde alternatif akım motorları yerine doğru akım motorları tercih edilir ve doğru akım motorlarının yön kontrolleri de kolaydır. Sadece motor uçları ve besleme gerilimi bağlantı uçları ters bağlanırsa doğru akım motorunun dönüş yönü de ters yönde değiştirilmiş olur.

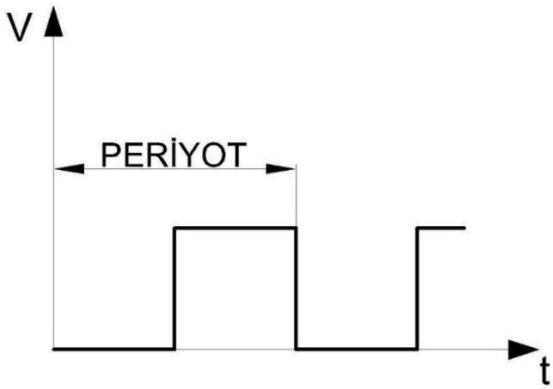
Bu çalışmada motoru sürmek için transistor kullanılmıştır. Transistorun base ucuna sinyal gönderilerek, transistor iletime geçirilmiştir. Transistorun iletime geçmesi ile besleme voltajı motor uçlarına ulaşır ve bu besleme gerilimi ile motorun tek yönlü dönmesi sağlanmıştır. İkinci bir transistor kullanılarak motorun ters yönde dönmesi sağlanabilir.

Doğru akım motorlarının hız kontrolü de çok önemlidir. Doğru akım motorlarının hızlarının kontrol edilebileceği yöntemler:

- Uygulanan gerilimi değiştirme
- Manyetik alanı değiştirme
- Rotor devresine direnç ekleme

Bu yöntemler içerisinde hız kontrolü için en çok motora uygulanan geriliminin değiştirilmesi yöntemi tercih edilir. DC Motorlara uygulanan gerilimin değiştirilmesi işlemi direnç kullanılarak gerilimin bölünmesi, PWM (Pulse Width Modulation / darbe genişlik modülasyonu) sinyalinin doluluk boşluk oranının değiştirilmesi, kesici ile gerilimin verilmesi gibi yöntemler kullanılabilir. Bu çalışmada DC Motorların hızı STM32F4 Discovery Geliştirme kartı tarafından gönderilen PWM sinyali ile ayarlanmaktadır ve sadece PWM sinyali ile DC Motor hız kontrolünden bahsedilmiştir.

PWM tekniği mikrodenetleyiciler kullanılarak kolaylıkla uygulanabilir. PWM tekniği DC Motorların sürülmesinde çok tercih edilir. PWM ile darbelerin periyot içerisindeki genişlikleri değiştirilerek, voltaj seviyeleri değiştirilir. Oluşan bu darbe genişliklerine doluluk boşluk oranı denir. Şekil 3.20'de bir periyot içerisinde, darbe yani pulse şiddetinin %50 oranında olduğu görülmektedir. Şekil 3.21'de bu PWM sinyalinin farklı doluluk oranlardaki örnekleri gösterilmiştir.

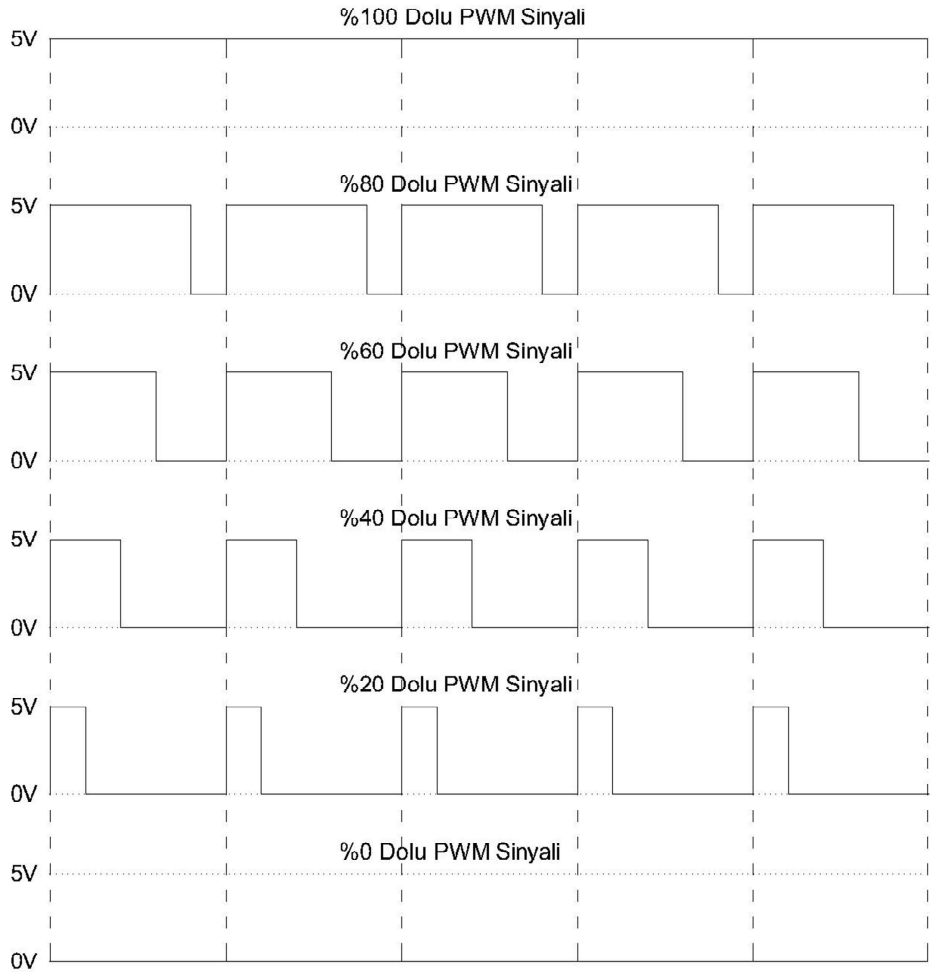


Şekil 3.20. PWM sinyalinde bulunan doluluk oranı

PWM sinyalinin en büyük özelliği yüksek frekanslarda oluşturulmasıdır. Yüksek frekanslarda oluşturulan PWM sinyallerinin motora uygulanması ile motora doğru akım verilmiş olur.

PWM sinyali ile transistor, mosfet, optocoupler ve farklı motor sürücü entegreler gibi birçok devre elemanları kullanılarak DC Motor sürülebilir. Bu devre elemanları kullanılırken en önemli husus seçilen devre elemanının çalışma frekansının uygulanan PWM sinyalinden yüksek olması gerekir. Aksi halde devre elemanı PWM sinyaline cevap vermeyebilir.

STM32F4 Discovery Geliştirme kartında dijital çıkış pinleri kullanılarak PWM tekniği kullanılabilir. STM32F4 Discovery Geliştirme kartı üzerindeki dijital çıkışlarda PWM tekniğinin kullanılması ile dijital sonuçlar elde edilir. Ayrıca elde edilen bu dijital sonuçlardan analog sonuçlar da elde edilebilir. PWM tekniği ile kontrol uygulamaları için gerekli olan kare dalga da üretilmiş olur



Şekil 3.21. PWM Sinyalinin örnek doluluk oranları

Deney setinde kullanılan DC Motorlar ve özellikleri:

Bu çalışmada 2 farklı DC motor ile deney yapılmıştır. Motorlardan birincisi redüktörlü bir DC motordur ve şekil 3.22 ve şekil 3.23'te gösterilmiştir, bu motorun özellikleri; 46:1 Metal Redüktörlü optik Enkoderli 185 Rpm 9V DC Motoru.

Çalışma gerilimi : 9V

Sıcaklık Aralığı : -20°C~+60 °C

Nem Aralığı	: 0%-90%
Yüksüz akım	: ≦ 200 mA
Yüksüz hız	: 185±10% rpm
Yük kapasitesi	: 0.9 Kgf.cm
Yük altında akım	: ≦ 550mA
Yük altında hız	: 135±10% rpm
Başlama torku	: 4.5kgf.cm
Zorlanma akımı	: ≥ 2.0 A
Boyutlar (paket)	: 150 x 110 x 30mm
Net ağırlık	: 105gr



Şekil 3.22. 46:1 Redüktörlü enkoderli Dc motor

Kullanılan ikinci motor redüktörsüz bir DC motordur, özellikleri; optik Enkoderli 12V 5300 RPMv eya 24V 10800 RPM DC Motoru

Motor çapı: 27,8 MM
Motor yüksekliği: 38 MM (ön ve arka yatak kovanları hariç)
Çıkış ekseni: 2,3 MM
Çıkış ekseni uzunluğu: 9.5 MM
Ağırlık: 86 G
Gerilim: 12 V
Akım: 0.07 A

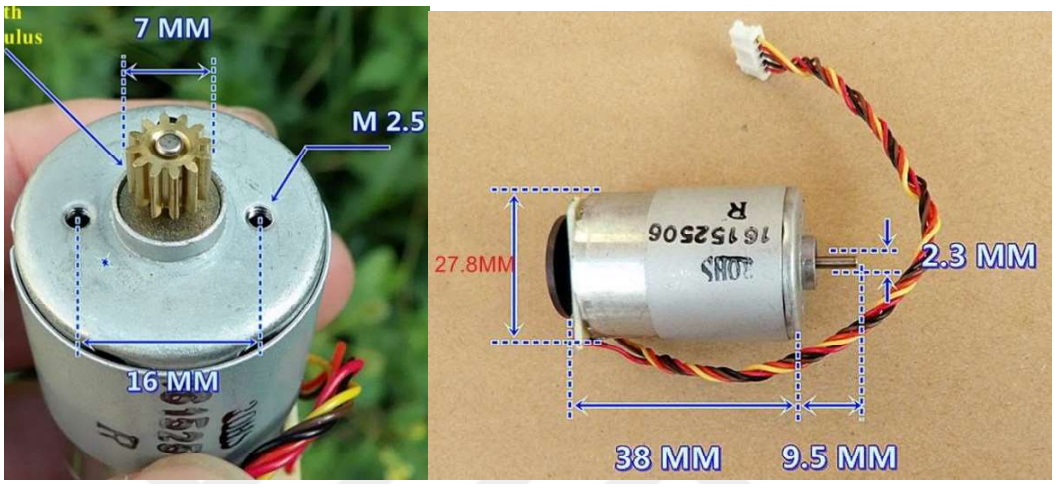
Hız: 5300 RPM

Gerilim: 24 V

Akım: 0.11 A

Hız: 10800 RPM

Burulma: 108 g.cm



Şekil 3.23. Redüktörsüz Enkoderli Dc Motor

3.11. Enkoder

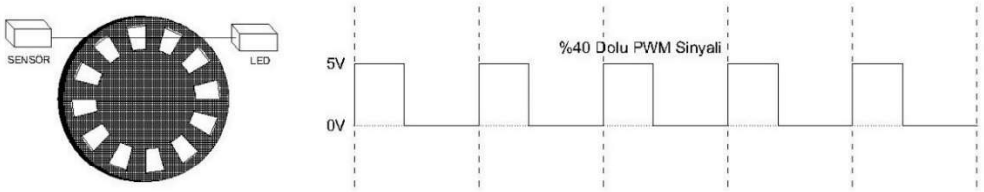
Bir milin dönme işlemi esnasında sayısal elektrik sinyali üreten cihazlara enkoder denir. Enkoderler motorun hareket eden bir parçasına bağlanır ve pozisyon ve hareket hızının bulunabileceği dijital sinyaller üretirler. Elde edilen bu sinyallerin değerlendirilmesi ile istenilen bilgiler elde edilebilir.

Enkoderlar çalışma şekillerine göre, şaft ve lineer enkoderlar olmak üzere iki gruba ayrılır. Bilgiyi okuma şekline göre optik ve manyetik enkoderlar olmak üzere ikiye ayrılır. Optik enkoderlar ise artımsal ve mutlak tip olmak üzere ikiye ayrılır.

3.11.1. Artımsal tip optik enkoder

Artımlı enkoderlarda ışık yarıklı diskten geçerek alıcıya ulaşır. Yansımalı tip enkoderlarda ise ışık, disk üzerinde bulanan siyah ve beyaz çizgilerden yansır. Ancak yansımalı tip enkoderlarda konum bilgisi elde edildikten sonra motor milinin dönüş

yönü bilinmez. Yansımalı tip enkoder çalışma prensibininin gösterimi şekil 3.24'te verilmiştir.

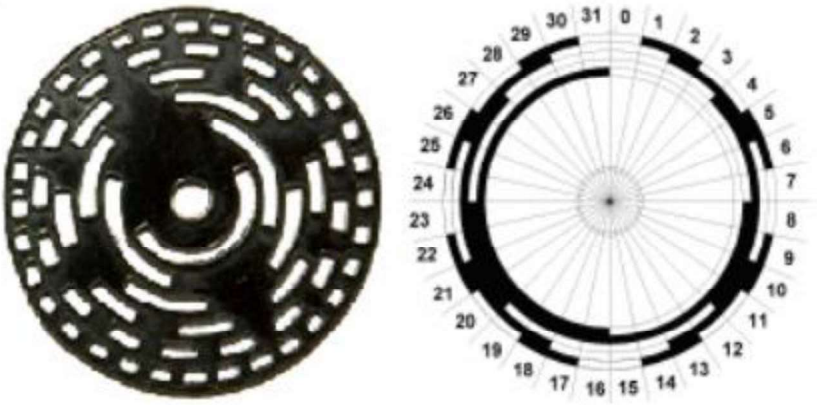


Şekil 3.24. Artımlı enkoder

Artımsal enkoderlarda iki sıra hâlinde dizilmiş yarıklar dönüş yönü için kullanılır. Altta ve üstte bulunan yarıklar arasında açıklık vardır. Üst yarıktan gelen sinyal A, alt yarıktan gelen sinyale B kanalı olarak adlandırılır. Milin dönmesi ile mil hızıyla orantılı olarak bu kanallarda pals üretilir ve bu iki sinyal arasında elde edilen fark dönme yönünü belirler. Eğer A kanalı B kanalından önde ise mil saat yönünde döner. Diskin üzerinde bulunan yarık sayısı enkoderin çözünürlüğünü verir. Disk üzerinde 1024 yarık veya iz varsa bu enkoderin çözünürlüğü 1024 adım/tur 'dur denilir. Her bir kanaldaki pals sayısı ve çözünürlük bilinmesi ile milin açısal konumu belirlenir. Encoderlarda genellikle üçüncü bir kanal daha vardır ve bu kanala Z ya da indeks kanalı denir. Bu kanal, her turda bir pals üreterek milin dönme sayısı hakkında bilgi verir.

3.11.2. Mutlak tip optik enkoder

Mutlak tip enkoderlar milin konumuna göre sadece bir sayısal sinyal üretir. Milin her bir konumunun sayısal bir deseni vardır. İkilik düzende bu sayısal desende bulunan bit sayısı çözünürlüğü verir. Mutlak tip optik enkoderin iç yapısı şekil 3.25'te verilmiştir.



Şekil 3.25. Mutlak enkoder

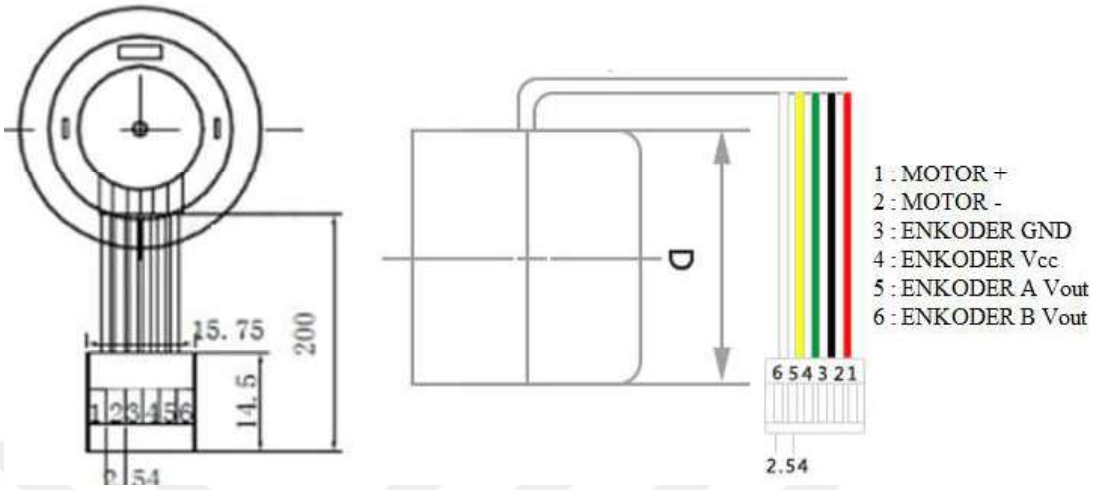
Diskin üzerinde bulunan her bir dairesel sıra veya iz sayısal deseni oluşturur. Örneğin diskin üzerinde 8 adet iz bulunuyorsa enkoder 28=256 farklı konumu yani 8360/256=1.4060 açıyı bildirebilir.

3.11.2.1. Artımlı enkoder çalışma prensibi

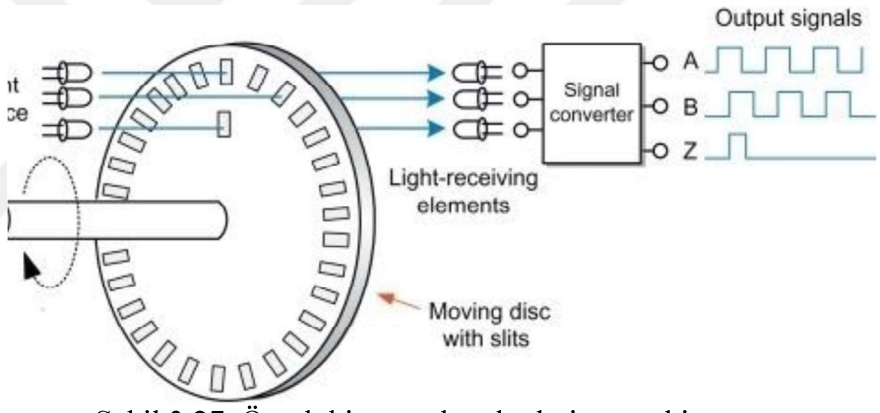
Enkoderler, bağlı oldukları bir milin doğrusal veya dairesel hareketinin sonucunda, çıkış olarak sayısal bir elektrik sinyal üreten elektromekanik sistemlerdir. Dairesel olarak çalışanlara dönel enkoder denir. Bağlı olduğu milin her adımda gerçek pozisyonunu belirleyebilen çeşidine mutlak enkoder denir. Eğer ürettiği darbe sinyallerinin sayısına bağlı olarak pozisyon bilgisi belirleniyorsa bunlar artımlı enkoder olarak adlandırılır. Artımlı enkoderlerin çözünürlüğü bir turda ürettikleri darbe sayısı ile belirlenir. Bu çalışmada kullanılan artımlı enkoder 12-24 V gerilim aralığında çalışır ve bir turda 3600 darbe sinyali üretmektedir. Autonics firmasına ait E50S8-3600-3-T-24 model bu enkoder Şekil 3.26'da gösterilmektedir.

Artımlı enkoderler genellikle Şekil 3.27'de görüldüğü gibi 3 farklı sinyal üretirler. Bu sinyaller A, B ve Z şeklinde isimlendirilir. A ve B sinyallerinin aralarında 90 derecelik faz farkı bulunmaktadır. Bu sinyallerin arasındaki faz farkından yararlanarakmilin dönüş yönü tespit edilir. Milin dönüş açısı, üretilen darbe sayısı ile enkoderin bir turda üretebileceği darbe sayısı arasındaki orantıdan tespit edilir. Örneğin; bir tur yani 360 derecelik hareket için 10 darbe sinyali üreten enkoderin A ya da B sinyalindeki her darbe 36 derecelik harekete karşılık geleceğini gösterir. Z sinyali ise tur başına

üretilentek bir darbe sinyalidir. Bu sinyali takip ederek devir sayısı öğrenilir. Enkoder ve motorun görünümü şekil 3.28'deki gibidir.



Şekil 3.26. Artımlı enkoder



Şekil 3.27. Örnek bir artımlı enkoderin temel iç yapısı



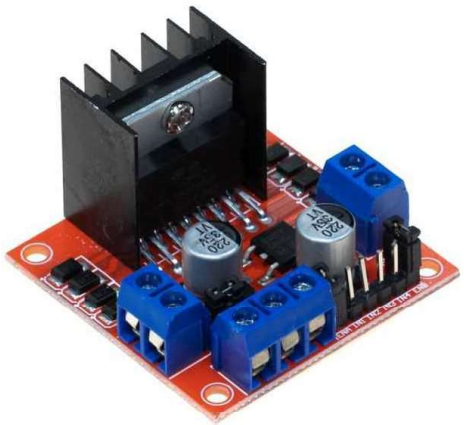
Şekil 3.28. Redüktörsüz motor ve enkoder

3.12. Motor Sürücü

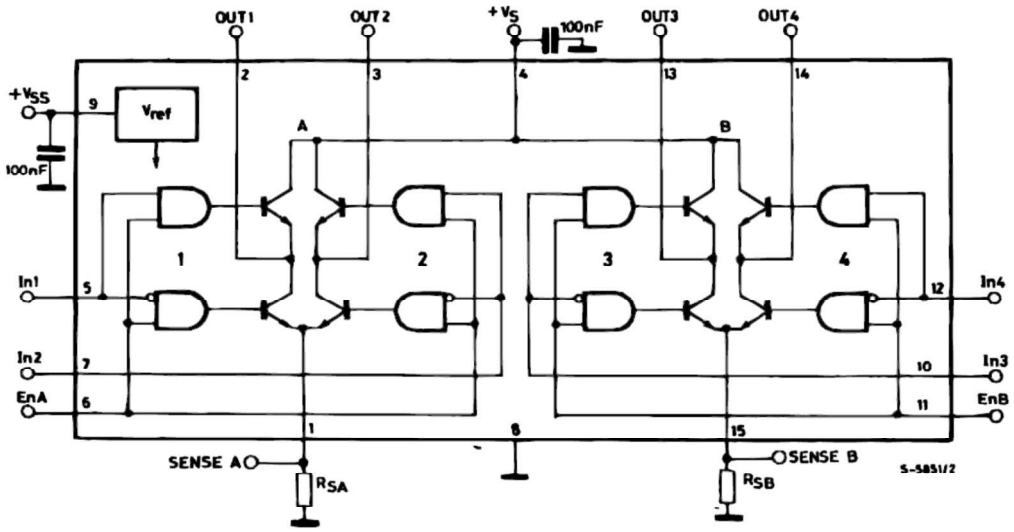
Tez kapsamında hazırlanan deney setinde DC motor STM32F4 Discovery geliştirme kartı tarafından kontrol edilmektedir, ancak motorun çektiği akımı STM32F4 Discovery geliştirme kartının sağlaması pek mümkün değildir. Bu nedenle mikrodenetleyiciler ile kullanılmak üzere tasarlanmış motor sürücü entegreleri kullanılmıştır. Motor sürücü entegresi besleme akımını farklı bir güç kaynağından çekmekte, ancak PWM sinyalini STM32F4 Discovery geliştirme kartından almaktadır. Böylelikle DC motor hızını ayarlamak için gerekli PWM sinyali STM32F4 Discovery geliştirme kartından gelirken kart ayrıca DC motoru beslemek için bir güç tüketmek zorunda kalmamaktadır.

3.12.1. L298N DC motor sürücü kartı

Mikrodenetleyiciler ile birlikte 0-24 V gerilim seviyesi aralığında motorları sürme amacı ile tasarlanmış bir sürücü kartıdır. L298N DC Motor sürücü kartı iki farklı motoru eş zamanlı sürebilecek kabiliyettedir. Her bir motor için 2 Amper akımı verebilecek özelliklere sahiptir. Kart içerisinde ST Microelectronics firmasının üretmiş olduğu L298N entegresi bulundurmaktadır, bu entegre motor sürmek için içerisinde transistörler ile bir köprü bulunduran biir entegredir, entegrenin genel görünümü şekil 3.29'da ve entegrenin blok şeması şekil 3.30'da verilmiştir. Ayrıca bu entegrenin iki ayrı çıkış kanalı birleştirilerek step motorların sürülmesinde de kullanılabilir. Motor sürücü kartına dair özellikler aşağıda belirtilmiştir (ST Microelectronics 2020).



Şekil 3.29. L298N DC Motor sürücü devresi



Şekil 3.30. L298N blok gösterimi

Özellikleri:

- 2 Motoru eş zamanlı sürebilme
- 1 Step motor sürebilme
- Kanal başına 2 Amper olmak üzere 4 Amper çıkış
- Dahili Regülatör
- Kısa devre ve sıcaklık koruma
- Motor yönü gösterge ledleri
- Dahili soğutucu alüminyum plaka
- Current sense pinleri
- Kart sabitleme amaçlı vidalar için delikler
- Dijital ve Analog giriş pinleri
- Ölçüler: 68x55x30mm
- Ağırlık: 37g

3.13. Arduino

Arduino, STM32F4 Discovery geliştirme kartı gibi bir mikrodenetleyici tabanlı kontrol kartıdır. Dış ortamdan algılama, lojik işlemler ve fiziksel kontolün sağlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Mikrodenetleyicisi için yazılım geliştirmek amaçlı Arduino IDE isimli programı da bulunmaktadır. Arduino IDE yazılımı hem kod editörü hem de derleyici olarak görev yapan Java programlama dilinde yazılmış bir uygulamadır. Arduino genelde mühendislik uygulamaları için

kullanılmaktadır. Mühendislikte birçok ürün geliştirmek için başvurulan önemli bir kaynak olarak görülmektedir. Mühendislikte genellikle robotik uygulamalar için kullanılmakta ileri teknolojilere entegre edilmektedir.

Kullanımının kolay olması, programlanmasıyla ilgili çok sayıda basılı ve basılı olmayan kaynak bulunması, kullandığı dilin anlaşılır olması bu mikrodenetleyicikartına olan ilginin artmasında önemli etkenler olarak sıralanabilir. Arduino' nun programlama dili olarak en yaygın C/C++ dili kullanılmaktadır (Dökmetaş, 2016). Arduino kartının donanım referans tasarımları Arduino web sitesinden indirilebilir ve kullanılabilir.

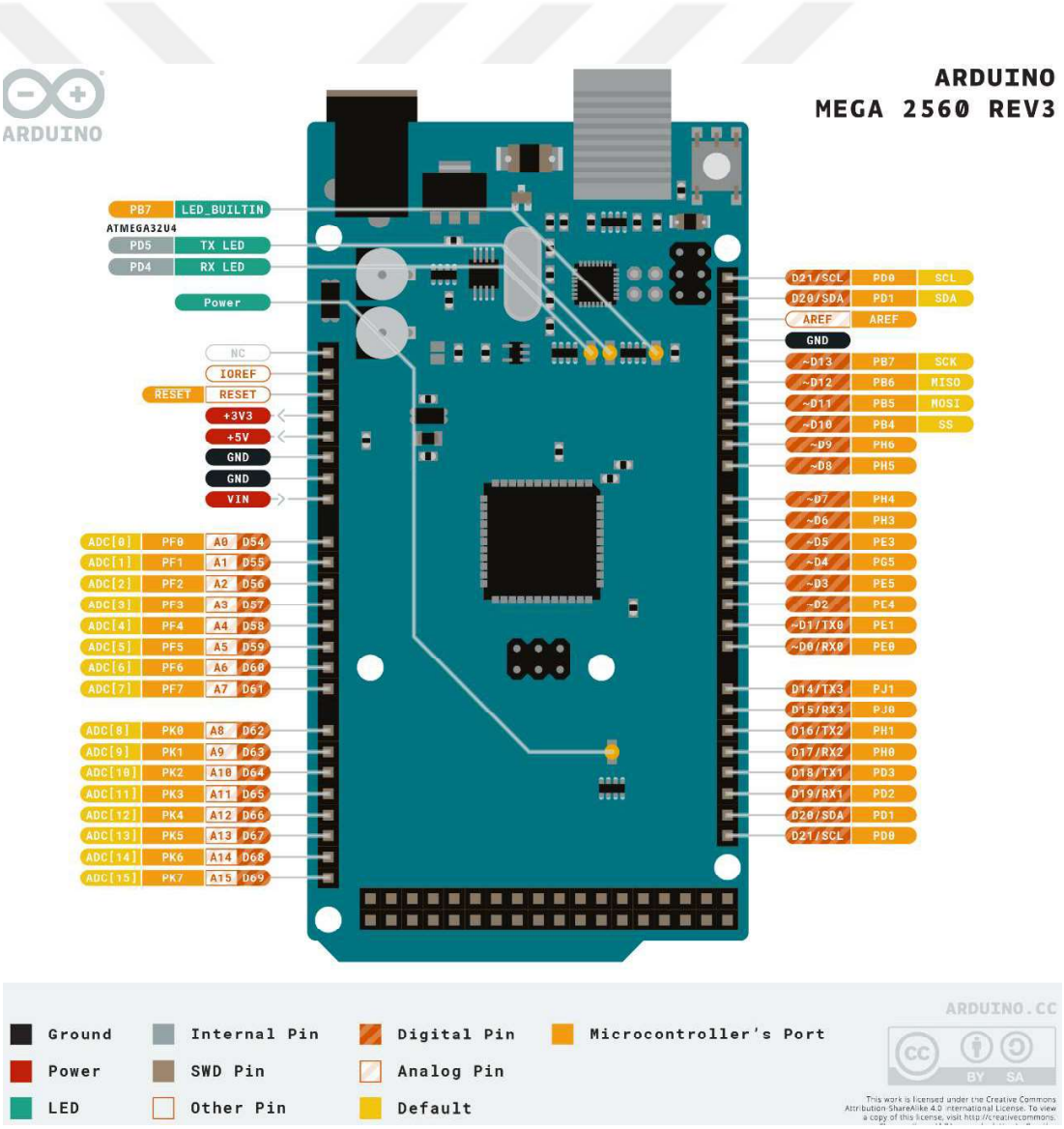
Yapılması planlanan projenin büyüklüğü, kapsamı ve ihtiyaç duyulacak olan donanıma göre farklı arduino geliştirme kartları tasarlanmıştır. Küçük ve basit uygulamalar için Arduino Mini, uygulamada hız önemli ise Arduino Due, bütçenin önemli olduğu düşük maliyet gerektiren uygulamalar için ArduinoUno kullanılabilir. Arduino Mega 2560 geliştirme kartı ise profesyonel uygulamalarda, daha çok I/O portuna ihtiyaç duyulduğunda, hıza ve stabil çalışmaya ihtiyaç duyulduğunda tercih edilmektedir. Yapılacak uygulamaya göre hangi Arduino kartı ile çalışılması gerektiğini seçerken program hafızası, eeprom, analog giriş ayakları, dijital giriş ve çıkış ayakları, işlem hızı ve fiyatı gibi özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır (Dökmetaş, 2016).

Devre tasarımında Arduino Mega 2560'ın teknik özellikleri göz önünde bulundurulmuştur. Çizelge 1'de Arduino Mega 2560 modelinin teknik özellikleri gösterilmektedir. Devrede kullanılacak giriş çıkış pinlerinin sayısı belirlenmiş ve bu modelin pin sayısı yeterli bulunmuştur. Bu nedenle Deney düzeneğinde Şekil 3.31'de verilmiş olan, Arduino Mega mikrodenetleyici kartı kullanılmıştır. Aşağıdaki bölümde Arduino Mega2560 geliştirme kartı ve programlaması ile ilgili bilgiler yer almaktadır.

Çalışmanın 2. Bölümünde Arduino geliştirme kartı tercih edilmesinin nedenlerinden bazıları şunlardır:

- Kullanılacak bilgisayarın işletim sisteminden bağımsız çalışmaktadır. Windows, Linux ve Mac OS' da sorunsuz bir şekilde programlanabilmektedir.

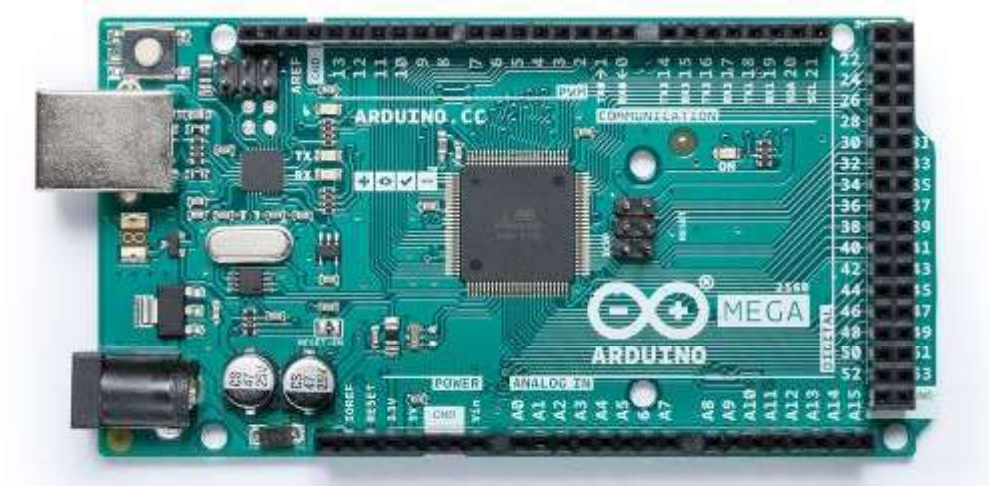
- Geliştirme kartına dair tüm teknik detaylar üretici firma tarafından paylaşılmaktadır. Kartın üretimi sadece tek bir firmayla sınırlı kalmamakta, farklı firmaların da üretimi ile ürün fiyatı çoğu rakibine göre avantaj sağlamaktadır.
- Kullanıcı için kendi tasarımı olan bir kartı yapma imkânı sağlamaktadır.
- Açık kaynak kodlu yazılımı C++ diline benzemektedir. Bu nedenle C dili bilen biri için programlaması kolaydır.
- Mikrodenetleyicinin programlanması için ek bir donanım ve yazılım gerektirmemektedir. Arduino IDE esnek, sağlam ve anlaşılması kolay programlama imkânı sunmaktadır.
- Yaygın olması nedeni ile kaynaklara ulaşmak kolaydır



Şekil 3.31. Arduino Mega pin konfigürasyonu

3.13.1. Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560, ATmega2560 mikrodenetleyicisini kullanan bir geliştirme kartıdır. Yüksek RAM, Bellek ve I/O pini gereken projeler için tasarlanmıştır. 54 dijital I/O pini, 16 analog giriş bulunan kart özellikle 3D yazıcılar ve robot tasarımlarında tercih edilmektedir. Kart üzerinde 54 dijital I/O pini mevcuttur. Kart üzerinde bulunan 54 dijital I/O içerisinden 15 adedi PWM sinyali için çıkış olarak kullanılabilmektedir. Kart üzerinde 16 adet analog giriş pini, 4 adet UART pini, 16 MHz hızında kristal osilatör, USB protokolü ile bağlantı, Güç besleme bağlantısı, ICSP header ve bir reset düğmesi bulunmaktadır. ATmega 2560 mikrodenetleyicisine sahip Arduino Mega 2560 geliştirme kartı pin etkinlikleri şekil 3.31'de, atmega 2560 işlemciye sahip Arduino Mega 2560 geliştirme kartı da şekil 3.32'de gösterilmiştir. Ayrıca bu donanıma dair diğer özellikler ise çizelge 3.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.32. ATmega 2560 mikrodenetleyicisine sahip Arduino Mega 2560 kartı

Çizelge 3.2. Arduino Mega 2560 geliştirme kartı özellikleri

Mikrodenetleyici	ATmega2560
Çalışma voltajı	5V
Giriş Voltajı (önerilen)	7-12V
Giriş Voltajı (sınırlar)	6-20V
Dijital I/O Pinleri	54 (15 tane PWM sinyali çıkışı)
Analog Giriş Pinleri	16
G / Ç Pin Başına DC Akımı	20 mA
3.3V Pin için DC Akımı	50 mA
Flash Bellek	256 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Sinyali	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Ağırlık	37 g
Genişlik(W)	53 mm
Uzunluk(L)	101 mm

3.14. RFID (Radio Frequency Identification)

RFID teknolojisi radyo frekansı ile kablosuz nesne tanımlamasını hedefleyen sistemdir. Bu teknoloji 1970 yılında geliştirilmiş olsa da uzun yıllar yüksek maliyetlerden dolayı kullanılmamıştır, teknolojik gelişmeler ve maliyetleri düşmesi ile günümüzde yaygın bir kullanım alanı olan teknolojidir (Nath vd., 2006). Küçük verilerin kablosuz olarak nesne üzerinden işlemciye aktarılabilmesi birçok alanda tercih edilmesini sağlamıştır, Kullanılan sektörler; Eğitim, gıda endüstrisi, kütüphaneler, hastaneler, müzeler ve havacılık gibi alanlardır (Curtin vd., 2007).

RFID kartı içerisindeki bilgi, veri tabanındaki kayıtlı olan bilgiler ile eşleşmektedir. Kartı okutan kişinin veri tabanında kayıtlı olan bilgilerine rahatlıkla ulaşım ve kişinin verileri ile çalışma imkânı sağlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında tasarımı yapılmış olan laboratuvar otomasyonunda, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi öğrenci kimlik kartlarında kullanılan 13.56Mhz RFID etiket tercih edilmiştir. Kart etiketlerinin okunmasında RC522 RFID Kart okuyucu sistem kullanılacaktır.

3.14.1. RFID 13.56 Mhz Kimlik Kartı

Bu tez çalışması kapsamında hazırlanan kontrol laboratuvarı otomasyon sisteminde kullanılmış olan RFID etiketli kartların hafızası 8Kbittir, kart içerisinde 3.8x30.6x5.4mm ölçülerinde bu etiketler bulunmaktadır (Chang ve Lo, 2006). Şekil 3.33.'de örnek bir RFID etikete sahip kart gösterilmiştir. Kart içerisinde bulunan etiket

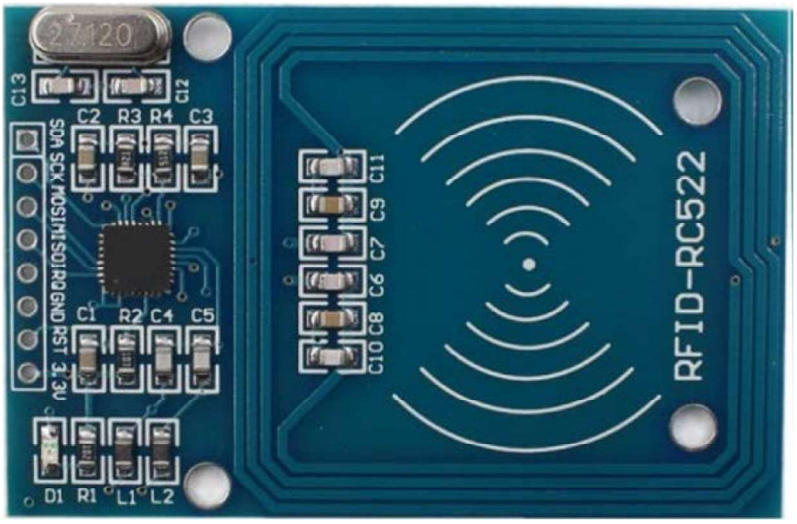
pasif bir yapıya sahip olup en fazla 10 cm mesafeden okunabilir yapıya sahiptir. Kullanılan kart Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi tarafından öğrencilere verilmiş olup her bir kart benzerei olmayan bir kart ID'sine sahiptir.



Şekil 3.33. RFID Etikete sahip öğrenci kartı

3.15. RC522 Kart Okuyucu

RFID Etikete sahip kartları okuması için MFRC522 Kart Okuyucu tercih edilmiştir. Kart okuyucu ISO 14443A standardına sahip özelliklerde ve 13,56 MHz frekansı ileçalışan etiketler için okuma işlemi yapan, güç tüketimi düşük ve boyutu küçük bir karttır (Wei vd., 2012). RC522 kart okuyucu, birçok geliştirme kartı ile yapılan sistemde kullanılmakta ve yaygın olarak örnek doküman ve çalışması bulunmaktadır (Hentrup ve Roldan, 2016). MFRC522 Kart okuyucunun görünümü şekil 3.34'deki gibidir.



Şekil 3.34. RC522 RFID okuyucu

3.16. Röle

Elektriksel bir sistemle kontrol edilmeye imkân tanıyan, mekanik anahtarlama yapabilen elemandır. İki ana kısımdan oluşur, birinci kısım bobin kısmıdır, ikinci kısım ise kontak kısmıdır. Bobin kısmına belirli akım uygulandığında oluşan manyetik alan ile kontak kısmı konum değiştirir, bu sayede devrede anahtarlama sağlanır. Kontaktörler gibi yüksek akımların anahtarlanmasının gerekmediği uygulamalarda, DC uygulamalarda, elektronik devre uygulamalarında sıklık ile kullanılan elemandır.

3V gerilimden 220V gerilime kadar her gerilim seviyesi için ayrı modeli bulunabilir. 40Ampere kadar devre anahtarlamak için kullanılabilen modeli vardır. Tez çalışması kapsamında hazırlanmış olan laboratuvar otomasyonunda mikrodenetleyici ile birlikte çalıştırılan röle şekil 3.35'te gösterilmiştir. Ayrıca bu röle için katalog bilgileri aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 3.35. 12V DC Röle

5V, 9V, 12V, 24V, 48V, 220V çalışma gerilimlerinde, 1A-40A arası yük akımlarının kontrolünde kullanılır. Tekli ve çoklu kontak çıkış imkanları mevcuttur.

12V DC Röle Teknik detayı:

Marka	: SONGLE
Model	: SRD-12VDC-SL-C(T73) PCB Tipi güç rölesi
Pin sayısı	: 5
Bobin çalışma gerilimi	: DC 12V
Nominal yük	: 28VDC:10A / 30VDC:10A/125VAC:10A / 250VAC:10A
Kontak tipi	: 1a, 1b, 1c
Kontak direnci	: <=100mΩ
Elektriksel ömür	: 100,000 anahtarlama
Mekanik ömür	: 10,000,000 anahtarlama
Bobin gücü	:0.36W, 0.45W
Bobin açma gerilimi	: <=75%
Bobin düşürme gerilimi	:>=10%
Ortam sıcaklığı	: -25 ^{0}C +70 ^{0}C Sıcaklığı arasında
Bobin ve Kontaklar arası	: 1500VAC/min
Kontak ve kontaklar arası	: 1000VAC/min
Yalıtım direnci	:>=100MΩ
Dış ölçüler	: 19mm x 15.5mm x 15mm

4. BULGULAR

4.1. Mühendislik Eğitimi ve Laboratuvar Çalışmalarının Önemi

Günümüzün mühendislik eğitiminde teknolojik materyallere olan ihtiyaç geçtiğimiz yıllara göre çok daha fazladır (Çepni ve Özmen, 2010). Bugünün mühendislik fakültesi öğrencisi, yarının mühendisleri ve akademisyenleri olacak kişiler modern ve güncel materyaller ile eğitim almalı, yenilikler yakından takip edilmelidir.

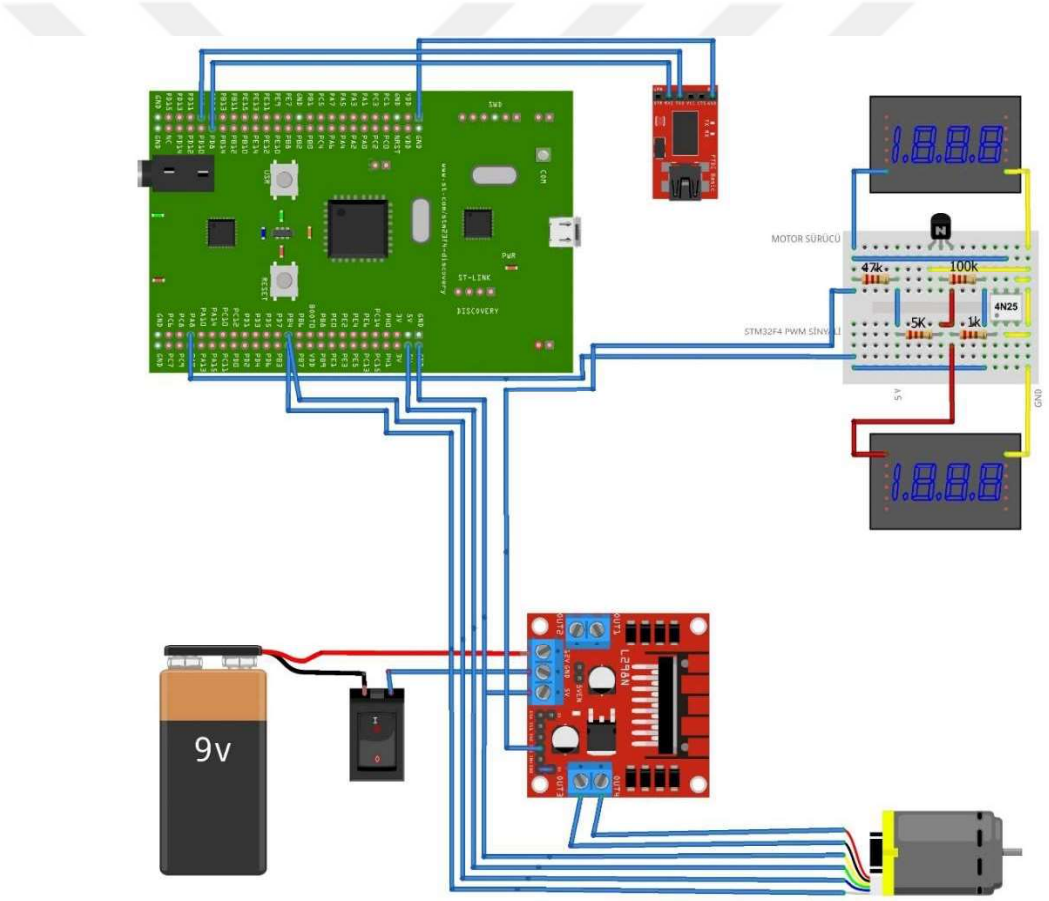
Uygulamalı eğitimin yapılabilmesi laboratuvarlar ile mümkün olup, laboratuvarlar da belirli düzen ve yeterli sayıda deney seti ile donatılmalıdır. Yeterli sayıda deney setinin laboratuvarlarda bulunmaması durumunda, akademisyen gösteri deneyi yapmak durumundadır. Ancak gösteri deneyi kalabalık öğrenci topluluğu ile yapıldığında tam anlamıyla konunun aktarımını sağlayamamaktadır. Öğrencilerde ilgisizliğe yol da açmaktadır (Gürdal, 1991; Temiz ve Kanlı, 2005).

Mühendislik eğitimi alan öğrencinin verimli uygulama eğitimleri alabilmesi yeterli deney seti ve donanım ile mümkündür, maalesef deney setleri ve donanımların temini ise geniş bütçeler ile mümkündür. Eğer uygulama derslerinin deney setleri düşük bütçeler ile tasarlanabilirse daha tüm öğrencilerin verimli eğitim alması sağlanacaktır. Bu çalışmanın ilk aşamasında kontrol laboratuvarları için bir deney seti tasarlanmış olup, ikinci aşamasında kontrol laboratuvarları için denetim otomasyonu geliştirilmiştir. Çalışmada, ucuz ve kolay ulaşılabilir bir mikrodenetleyici olan STM32F4 Discovery geliştirme kartı ve Atmega 2560 mikrodenetleyicisinden yararlanmak için Arduino Mega 2560 geliştirme kartı kullanılmıştır.

4.2. Kontrol Laboratuvarı Deney Seti ve Yapısı

Deney setinde DC motorun enkoder kısmından alınan motor hızı verisi Matlab/Simulink ortamında modellenerek PID katsayıları ile sürme işlemi gerçekleştirilmektedir. Motor hızının gerçek zamanlı kontrolünü ve bilgisayar ile haberleşmeyi yapacak mikrodenetleyici olarak STM32F4 Discovery geliştirme kartı seçilmiştir. Bilgisayar ile olan haberleşme için UART protokolü ve USB portu seçilmiştir.

Deney setinde iki farklı devir sayısına sahip DC motorlar seçilmiştir. Motorların sürülmesi için L298C entegresi kullanılmıştır. Mikrodenetleyici, STM32F4 Discovery geliştirme kartıdır. Maalesef kullanılan mikrodenetleyicinin PWM sinyali 3.3V seviyesindedir ve kullanılan motor sürücü entegresi 5V gerilim seviyesi ile çalışmaktadır. Bu nedenle PWM seviye değiştirici bir devre tez kapsamında tasarlanmış ve deney setinde kullanılmıştır. Mikrodenetleyici ve bilgisayar arasındaki bağlantı FTDI entegresi ile yapılmış olup, motor hız verisi ve PID katsayılarının aktarılması bu kart üzerinden yapılmıştır. Deney setinin bilgisayar tarafında Matlab/Simulink programı kullanılmış olup, STM32F4 ile uyum için Waijung kütüphanesi Simulink kütüphanesine eklenmiştir. Bu çalışma kapsamında hazırlanmış olan deney setinin genel görünümü şekil 4.1'de verilmiştir.

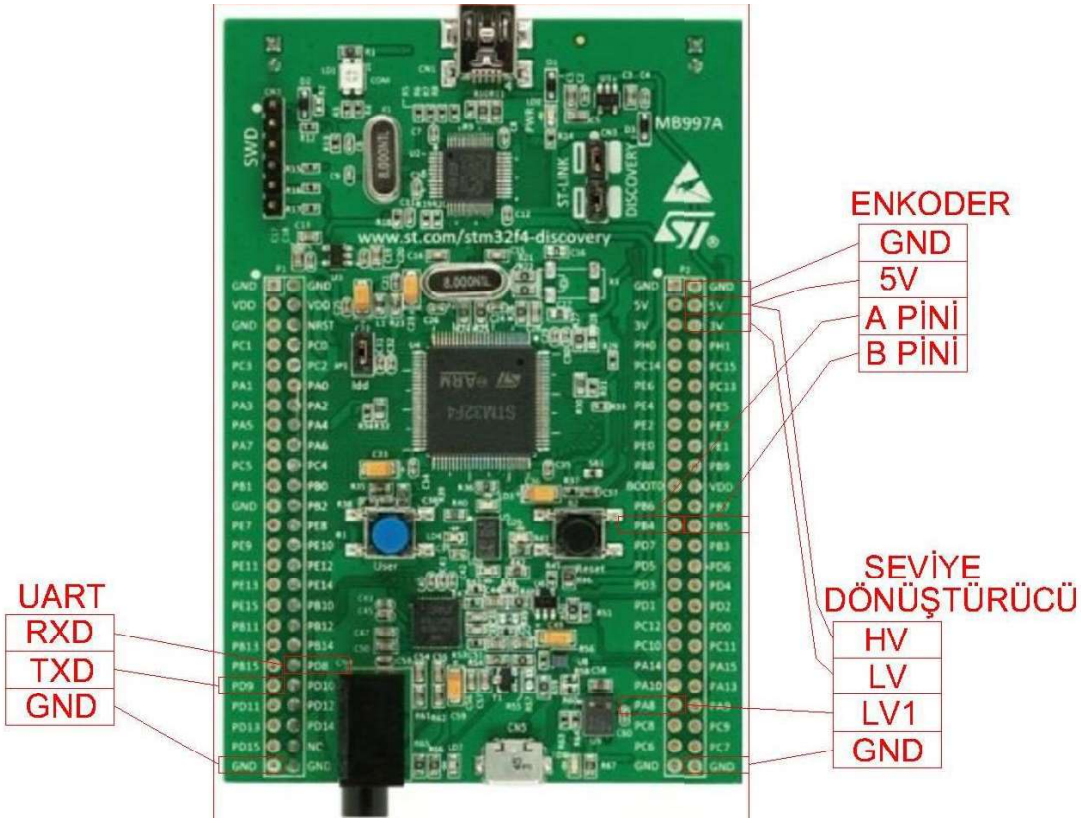


Şekil 4.1. Kontrol laboratuvarı deney seti

4.2.1. Elektriksel bağlantı ve kullanılan pinler

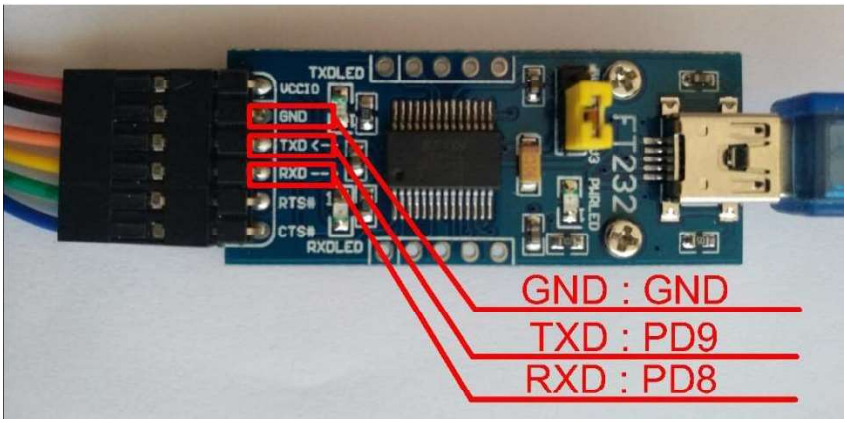
Kontrol laboratuvarı deney seti için bazı elektriksel bağlantılar ve haberleşme protokolleri takip edilmiştir. Deney setinin beyni konumundaki STM32F4 Discovery

geliştirme kartı, üzerinde 100 adet giriş çıkış pinine sahiptir. Bilgisayar ile olan haberleşmeyi sağlamak için, uart dönüştürücü ile haberleşmeyi sağlamak için, motor sürücüsü ve PWM sinyali için, enkoderden verileri almak için, tüm toprakları eşpotansiyel yapmak için, DC güç çıkışları için bu pinler kullanılmıştır. STM32F4 Discovery geliştirme kartına dair bu 100 adet pinin görüldüğü ve kart ile irtibatlı pinlere dair bağlantılar şekil 4.2'deki gibidir. Şekil a'da STM32F4 ile Uart dönüştürücü, Enkoder ve gerilim seviye dönüştürücü arasındaki bağlantı pinleri gösterilmiştir.



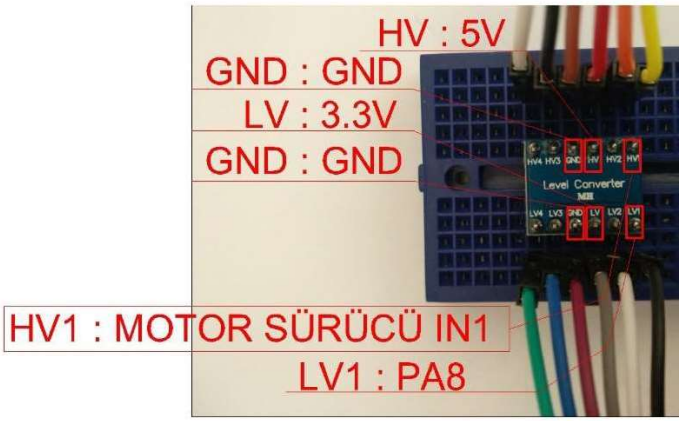
Şekil 4.2. STM32F4 Discovery geliştirme kartı ve bağlantı pinleri

Ayrıca sistemin bilgisayar ile uart haberleşme protokolü ile haberleşmesini sağlayacak olan FTDI modülü ve bağlantıları şekil 4.3'da gösterilmiştir. Şekil b'de görüldüğü üzere TX ve RX pinleri ve topraklama ucu mikrodenetleyici ile irtibatlı olmalıdır. Burada dikkat edilmesi gereken husus, uart dönüştürücü ve mikrodenetleyicilerin ground uçları eş potansiyelde olmalıdır.



Şekil 4.3. Uart haberleşme modülü ve kullanılan pinler

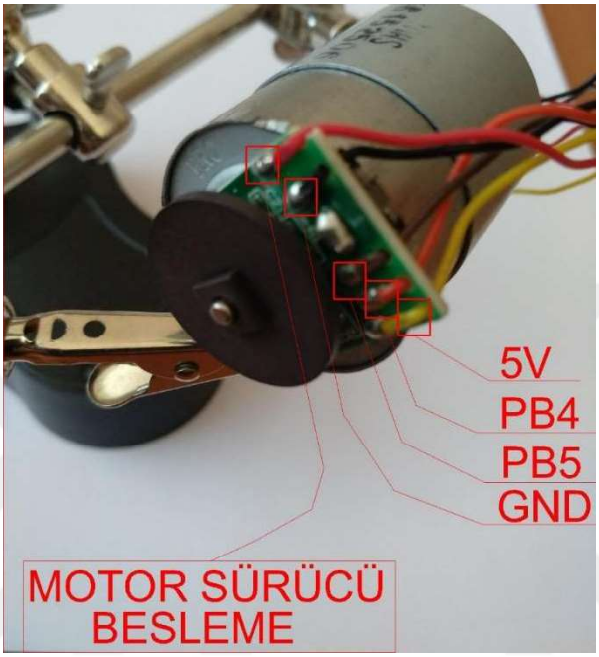
Deney setinin beyni konumundaki mikrodenetleyici ile oluşturulan PWM sinyalleri 3.3V seviyesindedir. Ancak motor sürücü 5V gerilim seviyesi ile çalışmakta olduğu için PWM sinyallerinin 5V seviyesine çıkarılması gerekmektedir. 4.2.2.1. başlığı altında anlatılan gerilim seviyesi dönüştürücü devresi, deney setinin kullanılan bir diğer parçasıdır. Şekil 4.4'de görüldüğü üzere, STM32F4'ün PA8 pini ile oluşturulan PWM sinyali, gerilim seviyesi dönüştürücüsüne LV1 pininden girmekte ve 5V seviyesinde HV1 pininden motor sürücüye aktarılmaktadır. Uart haberleşmesini sağlayan sistemde olduğu gibi, bu sistemde de donanımların eş potansiyelleri ground pinlerinin birleştirmesiyle sağlanmalıdır. Eş potansiyel oluşturulması ile PWM sinyalinin ortamdaki manyetik gürültüden kurtulduğu da tespit edilmiştir.



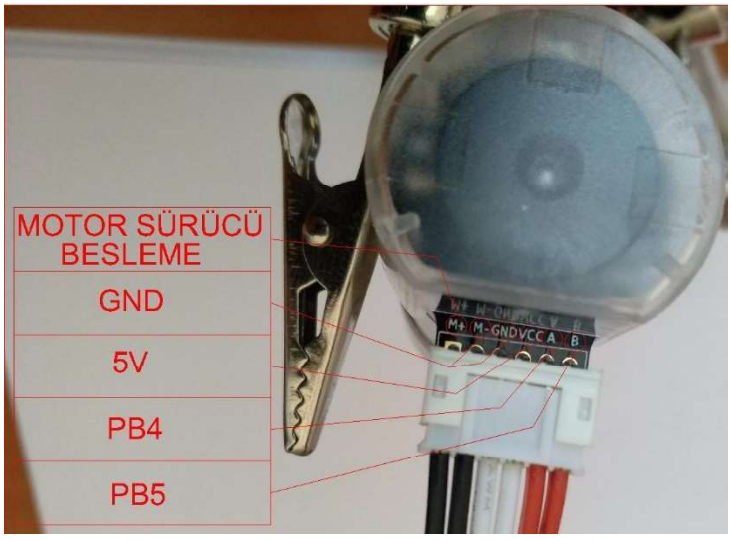
Şekil 4.4. Gerilim seviyesi dönüştürücü ve bağlantı pinleri

Kontrol laboratuvarı deney setinde sistem çıkışını gözlemlemeyi sağlayan kısım için DC motor tercih edilmiştir. Farklı hız ve devirlerde iki farklı DC motor ve enkoder ile hız ölçümü yapılmaktadır. DC motorlar ve enkoder bağlantıları şekil 4.5. ve şekil

4.6’de görülmektedir. Deney setinin diğer ekipmanları gibi motorlarda da eksi uçlar toprakta birleştirilmektedir. Artı uçlar için besleme motor sürücüden sağlanmaktadır. Diğer uçlar enkoder üzerinden hız verisini almayı sağlamaktadır. Şekil 4.5’de redüktörü bulunmayan DC motor ve şekil 4.6’de redüktörlü DC motorun pin bağlantılarına dair detaylar görülmektedir.



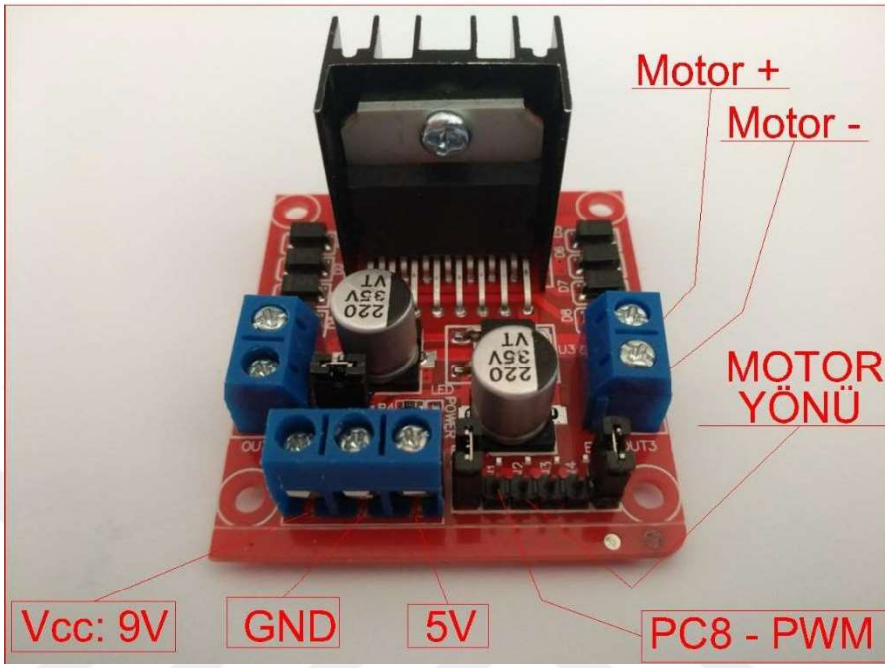
Şekil 4.5. Enkoderli DC motor ve bağlantı pinleri



Şekil 4.6. Enkoderli redüktörlü DC motor ve bağlantı pinleri

Deney setinde kullanılan iki motorun sürülmesi için de aynı motor sürücü tercih edilmiştir. Bu motor sürücü ve kablo bağlantılarında dair görsel şekil 4.7’de verilmiştir. Görüldüğü üzere sürücünün besleme gerilimi ayrı bir güç kaynağından

sağlanmaktadır. Sadece mikrodenetleyici tarafından üretilen PWM sinyali ile motor sürücü motor hızını ayarlamaktadır. Sistemin bağlantıları şekil 4.7'de daha detaylı görülmektedir.

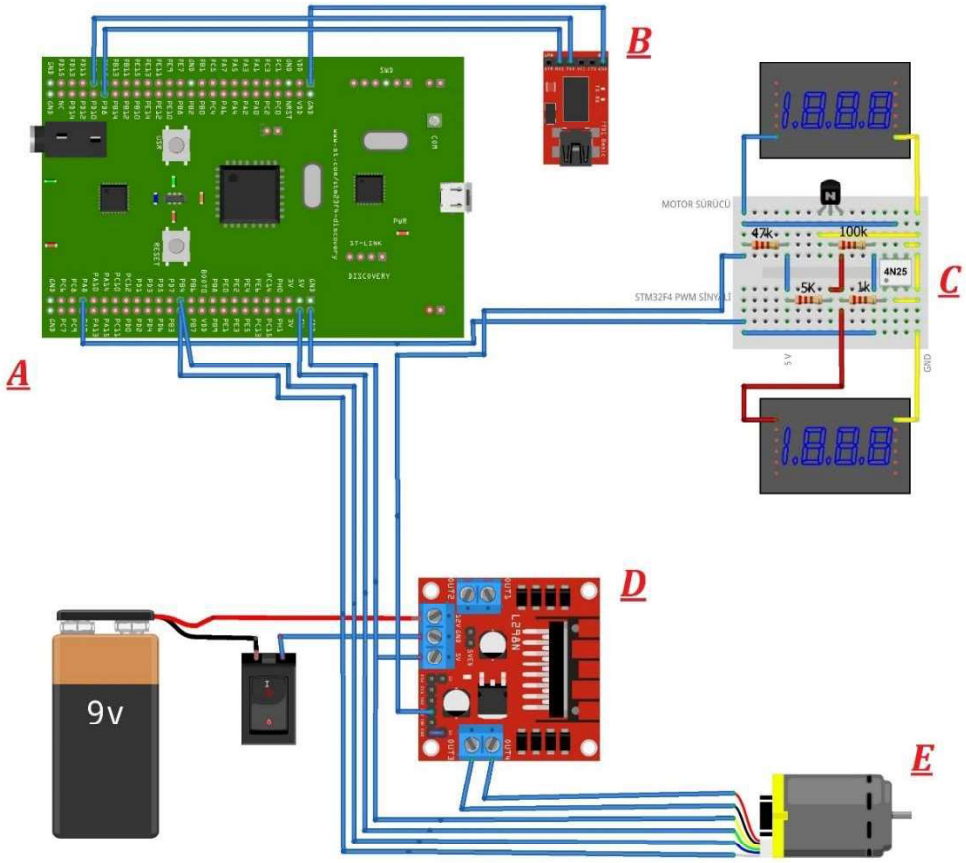


Şekil 4.7. L298N DC Motor sürücü ve bağlantı pinleri

4.2.2. Sistemin donanımı ve mekanik tasarımı

Deney setini oluşturan donanımların detaylı görünümü şekil 4.8'de görülmektedir. Sistem üzerinde harfler ile yapılan gruplandırmanın amacı daha kolay bir anlatımdır. Şekil 4.8'de görülen donanımlara dair bilgiler:

- A: Sistemin mikrodenetleyicisini bulunduran STM32F4 Discovery geliştirme kartı
- B: USB bağlantısı ile asenkron seri haberleşme sağlayan USB-UART Dönüştürücü (FTDI)
- C: Mikrodenetleyicinin 3.3V seviyesindeki PWM sinyalini 5V seviyesine dönüştüren tez kapsamında tasarlanan devre
- D: DC motoru sürmek için L298N entegreye sahip sürücü
- E: 9V Redüktörlü DC motor ve enkoder



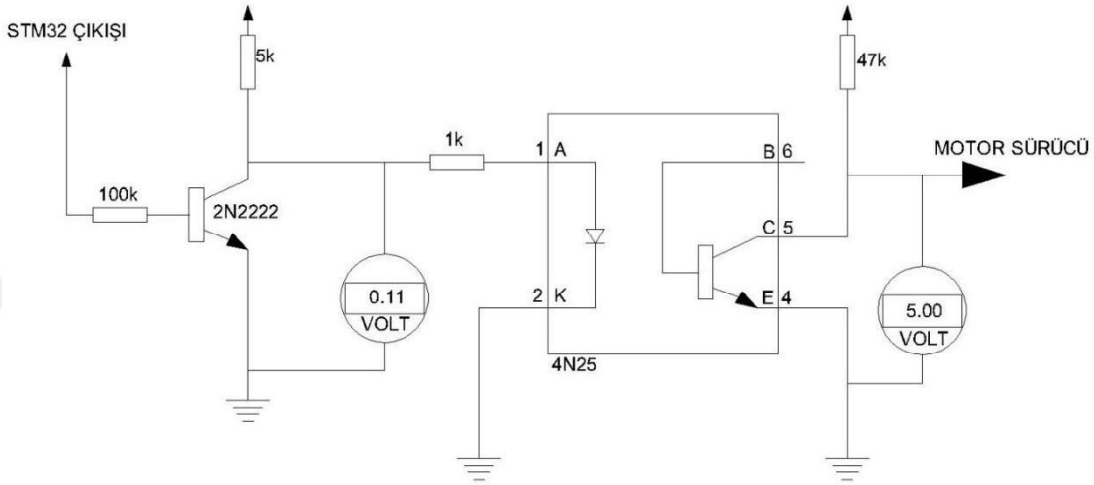
Şekil 4.8. Kontrol laboratuvarı deney seti kısımları

Şekil 4.8'de harfler ile tanımlanan bölümler haricinde Mikrodenetleyicinin ve DC motorun besleme gerilimlerini sağlayan güç kaynakları bulunmaktadır. Ayrıca FTDI entegresi ile bilgisayar arasında veri transferi için USB kablosu bulunmaktadır. Mikrodenetleyiciden sağlanan PWM sinyalini 3.3V seviyesinden 5V seviyesine çıkaran ve tezimiz kapsamında tasarlanıp uygulaması yapılan devrenin gerilim değerlerini anlık ölçen voltmetreler mevcuttur. Bu devreye dair detaylı bilgi ve diğer kısımlar ilgili başlıklar altında daha detaylı paylaşılmaktadır.

4.2.2.1. Lojik gerilim seviye dönüştürücü devresi

Bu çalışma kapsamında hazırlanmış olan deney setinde bulunan STM32F4 Discovery geliştirme kartının PWM çıkışı 3.3V seviyesindedir, ancak L298N entegresi ile motor sürmeyi sağlayan motor sürücü devresi 5V seviyesinde çalışmaktadır, bu durum da STM32F4 Discovery geliştirme kartından verilen PWM sinyalinin DC motora ulaşıp sağlıklı bir şekilde hız ayarlaması yapılmasını engellemektedir. Bu çalışma kapsamında tasarlanmış olan 3.3V gerilim seviyesindeki sinyalleri 5V gerilim

seviyesine çıkaran devre ile bu sorun aşılmıştır. Devre içerisinde 2n2222 transistör ve 4N25 optokuplör kullanarak STM32F4 Discovery geliştirme kartının 3.3 V olan PWM sinyali L298N entegreli motor sürücüye 5V olarak ulaşmaktadır. Devrenin şeması şekil 4.9'de görülmektedir. Ayrıca devrede kullanılan 2n2222 transistör ve 4N25 optokuplörün detaylı teknik bilgilerine ekler kısmında erişilebilir.

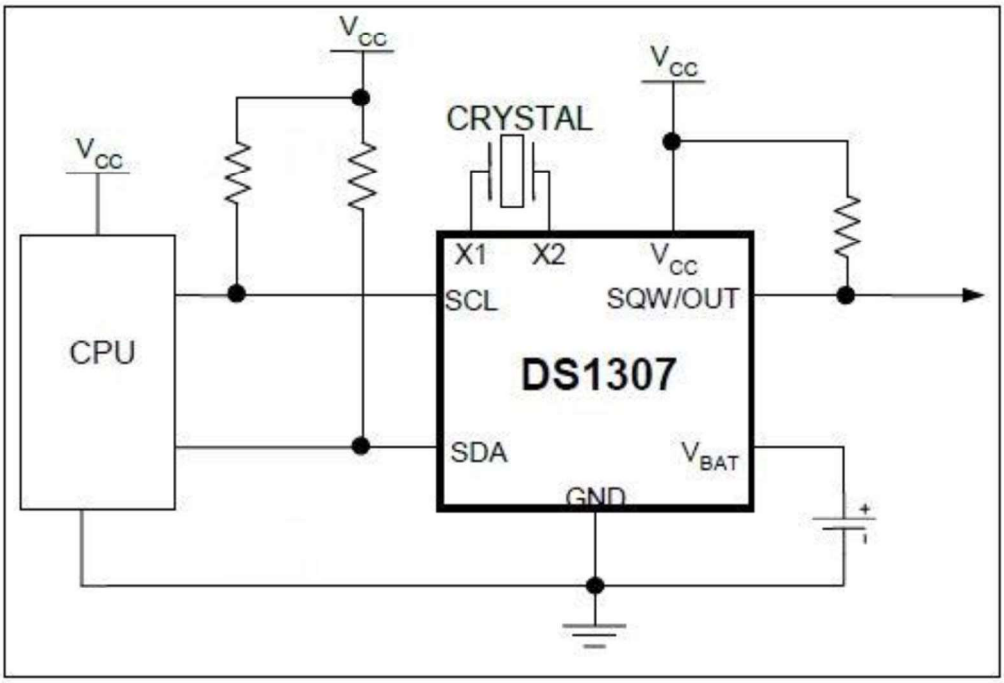


Şekil 4.9. Lojik gerilim seviye dönüştürücü devresi

4.2.2.2. Gerçek zamanlı saat ve DS1307 entegresi özellikleri

Mikrodenetleyiciler ile yapılan bazı tasarımlarda kalıcı saat ve tarih bilgisi bulunması gerekir. Bunun sebebi, hedeflenen görevin istenen süreçte çalıştırılması ya da veri kaydı alınırken zamana dair bilginin de kayıt altına alınması gerekir. Bu nedenle, tasarımda gerek duyulması halinde mikrodenetleyiciye güncel zaman bilgisinin sürekli olarak sağlanması gerekebilmektedir.

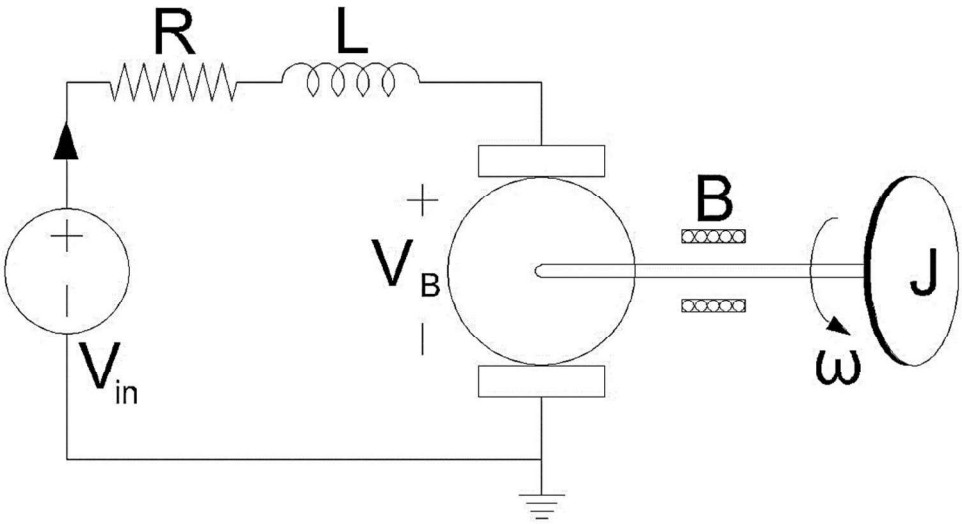
Bu ihtiyaca karşılık verebilmek üzere tasarlanan hazır entegreler bulunmaktadır. DS1307 ürün numaralı Maxim firması tarafından üretilen entegre ise en yaygın kullanıma sahip olandır. Entegre, mikrodenetleyici ile I2C haberleşme protokolü ile haberleşmektedir. Entegre, yıl, ay, gün, saat, dakika, saniye verisi üretir, bu verileri üretirken şubat ayının 4 yılda bir gerçekleşen özel durumunu dahi otomatik olarak göz önünde bulundurur. Ayrıca dahili yedek güç kaynağı sayesinde, enerji kesintilerinde dahi zaman bilgisini kayıtlı tutar. DS1307 entegresinin devre şeması şekil 4.10'da görülmektedir. (Maxim Integrated 2020).



Şekil 4.10. DS1307 entegresi devre şeması

4.2.3. DC Motora ait bazı değerlerin hesaplanması

Şekil 4.11'de DC Motora dair eşdeğer elektriksel şema görülmektedir.



Şekil 4.11. DC Motor elektriksel modeli

Vin : Besleme gerilimi

R : Endüvi direnci

L : İndüktans

Vb : Ters emf gerilimi

B : Sönümleme sabiti

ω : Açısal hız

J : Atalet momenti

4.2.3.1. Kt ve Ke değerlerinin bulunması

Motorun çekmiş olduğu akımı *i* kabul edilirse, motor tarafından çekilen akım ile motorun torku (τ) arasında (4.1) denklemindeki ilişki görülür.

$$\tau(t) = K_t i(t) \tag{4.1}$$

K_t : Motor tork katsayısı

τ : Motorun torku

i : Akım

Endüvinin güç kaynağından çektiği akım, oluşan manyetik alan ve motorun torku birbiri ile bir orantıya sahiptir. Manyetik alan sabit kabul edildiği takdirde (4.2), (4.3), (4.4) denklemlerinden Kt bulunur.

$$T = K_t i \tag{4.2}$$

$$0.06539664\ Nm = K_t * 6.5A \tag{4.3}$$

$$K_t = 0.01 \frac{Nm}{A} \tag{4.4}$$

Ters emf, gerilimine ***e*** diyelim. ***E*** *d*eğeri şaftın açısal hızı ve motorun kuvvet sabiti ile orantılı olarak değişmektedir.

$$e = K_e \theta \tag{4.5}$$

K_e : Motor kuvveti katsayısı

$\boldsymbol{e}$: Ters emf gerilimi

θ : Açısal hız

Endüvi sabiti ile motor sabiti birbirlerine eşittir, bu sebeple endüvinin sabitini temsilen motor torkunun sabiti olan K değeri endüviye dair sabit için kullanılmaktadır.

4.2.3.2. Üretici tarafından paylaşılan atalet momenti değeri

Bu çalışmada kullanılan DC Motorun katalog değerlerinde verilen atalet momenti değeri:

$J = 0.01(kg - m^2)$'dir.

4.2.3.3. Sürtünmeye bağlı sabitin (*B)* bulunması

$$T_{m(t)} = J.\frac{d\omega(t)}{dt}\, t\; B.\omega(t) + T_{L(t)} \tag{4.6}$$

Motor hız sabit olduğunda 4.6 numaralı denklemde verilmiş olan türev işlemi sıfır olacaktır, bu nedenle 4.6 numaralı denklem, 4.7 numaralı denkleme dönüşür.

$$T_{m(t)} = B.\omega(t) + T_{L(t)} \tag{4.7}$$

B : Sönümleme sabiti
ω : Açısal hız
J : Atalet momenti
$T_m\ (t)$: Milde oluşan moment
$T_L(t)$: Yük momenti değeri

Daha önceden belirlenmiş olan bir yük değeri ile milde oluşan moment yani $T_M(t)$ ve açısal hız yani $\omega(t)$ ölçülebilecektir. Değerlerin ölçülmesi ile oluşturulacak olan grafik üzerinden eğri uydurulabilir. Eğri uydurarak B ve $T_L(t)$ tespit edilir.

Bu çalışmada kullanılmış olan redüktörlü DC motorun B değeri, üretici tarafından hazırlanan katalogdaki B değeri; *B=0.1(Nm/rad/s)*'dır.

4.2.3.4. R değerinin ölçümü

Endüviye ait direnci temsil eder R değeri motorun artı ve eksi besleme uçlarına avometre ile ölçülmüş ve bu değer R=2.9Ω olarak belirlenmiştir.

4.2.3.5. Endüktansın ölçümü

Endüviye ait direncin ölçümü ile aynı yöntem izlenmiş ve motora ait endüktans değeri; $L=291^{-3}$ Henry tespit edilmiştir.

4.2.3.6. Matlab/Simulink ile dakikadaki devir sayısının ölçümü

Kirchoff kanunları Simulink ile tatbik edilerek motorun oluşturduğu devre tasarlanmıştır. 4.8 ve 4.9 numaralı denklemlerde gösterildiği gibi motor devirindeki değişim ve motorun çektiği akımdaki değişim Simulink ile modellenmiştir.

$$\int \frac{d^2\theta}{dt^2} dt = \frac{d\theta}{dt} \tag{4.8}$$

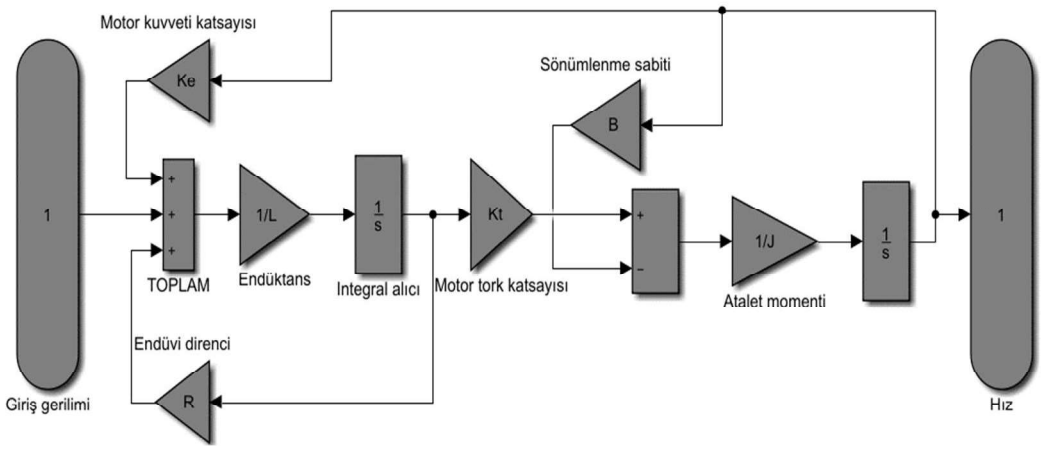
$$\int \frac{di}{dt} dt = i \tag{4.9}$$

Bu eşitlikler ve eşitlik (4.10) ve (4.11) kullanılarak motorun oluşturduğu sisteme tatbik edilmiştir.

$J\frac{d^2\theta}{dt^2} = T - b\frac{d\theta}{dt}$ Olduğu kabul edildiğinde $\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{1}{J}(K_t i - b\frac{d\theta}{dt})$ (4.10)

$L\frac{di}{dt} = -Ri + V - e$ Olduğu kabul edildiğinde $\frac{di}{dt} = \frac{1}{L}(-Ri + V - K_e\frac{d\theta}{dt})$ (4.11)

DC motora dair şekil 4.12'da görülen Matlab/Simulink tasarımı oluşturulup sisteme ait giriş ve çıkışlar tanımlanabilmektedir. Sistemin girişi motora uygulanan gerilim, sistemin çıkışı ise motor hızını temsil etmektedir. Bu modelde çizelge 3.1'de verilen değerler kullanılmıştır.



Şekil 4.12. Motora ait Simulink modellemesi

4.2.4. Deney seti için uygulama ve program tasarımı

Akademik çalışmaların sadece teorik kalmaması, aynı zamanda fiziksel uygulamalarla da desteklenmesi teorik olarak yapılan çalışmanın uygulama ile kıyaslanmasına ve daha doğru sonuçlara ulaşılmasına olanak sağlar. Ayrıca otomatik kontrole dair algoritmaların uygulama sonuçları dahi bilfiil gözlenebilir. Akademik çalışmaların algoritma ve bilgisayar ayağı Matlab/Simulink programı ile gerçekleştirilirken, uygulama kısmının kontrolü de rahatlıkla sağlanacaktır. Simulink araştırmacıyı kod satırlarından kurtararak çalışmasına direk odaklanmayı sağlayacaktır. Akademik çalışmalar incelendiğinde Matlab/Simulink kullanımının oldukça yaygın olduğu görülecektir.

Matlab/Simulink içerisinde bulunan ve farklı firmalar tarafından hazırlanmış olan blok setler; Matlab/Simulink haricinde donanımların kontrolünü, kapalı ve açık çevrim donanımlarının benzetimi, akıllı otomasyonlarda kontrol sistemleri, sinyal proses uygulamalarında gömülü sistem oluşumları ve farklı sensör yapılarından alınan verilerin gerçek zamanlı olarak bilgisayara aktarılması gibi birçok uygulamada kolaylık sağlamaktadır.

Matlab/Simulink içerisindeki blok setler Lisans ve ön lisans seviyesi otomatik kontrol dersi uygulamalarında prototip hazırlanmasında hızlı, anlaşılır çözümler, bu özellik de araştırmacının temel kavramlara odaklanmasını kolaylaştırır. Araştırmacı bu sayede üst düzey bir sistem mimarisinin işlevini idrak edip inceleyebilir. Matlab/Simulink'de

blok setler ile tasarlanan bir model herhangi bir kod yazmaya veya fazladan bir donanıma ihtiyaç duyulmadan ARM Cortex-4 tabanı ile çalışmakta olan gömülü bir sisteme dönüştürülebilmektedir. Bunu yapabilmek için ihtiyaç duyulanlar sadece Matlab/Simulink, Waijung Blok seti ve STM32F4 discovery geliştirme kartıdır.

Ne yazık ki ST Microelectronics firmasının geliştirdiği blok set (ST Microelectronics, 2020) ile Matlab/Simulink pek te uyumlu çalışmamaktadır, ancak Tayvan'lı bir araştırmacı tarafından geliştirilen Waijung blok seti (Waijung, 2020) uygulama geliştirme sürecinde minimum düzeyde sorun yaşatmaktadır.

Matlab/Simulink'e dahil olan blok set ve toolboxlar tasarlanan algoritma ve elektronik devrelerin uygulanmasına olanak sağlar, waijung blok setinden yararlanarak oluşturulabilecek uygulamalar ve bu uygulamaların tasarımında kullanabilecek bloklar çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Matlab/Simulink'tewaijung blok setini kullanabilmek için öncelikle waijung blok seti Matlab/Simulink içerisine yüklenmelidir. Ayrıca bu blok set ile hazırlanan tasarımın derlenebilmesi için tasarım dosyasının waijung blok set klasörü içerisinde olması gerekmektedir.

Bilgisayar ve STM32F4 discovery geliştirme kartı arasındaki veri alışverişi sağlanabilmesi için TTL USB dönüştürücüsü gereklidir, ayrıca STLink USB sürücülerinin bilgisayara kurulması gerekmektedir.

4.2.4.1. Mikrodenetleyicinin programlanması

Deney setinin en çok önem arz eden elemanı, mikrodenetleyicisidir. Tez çalışması kapsamında hazırlanmış olan kontrol laboratuvarı deney setinin kontrolü Matlab/Simulink programı ile sağlanmıştır. Deney seti içerisinde STM32F4 Discovery geliştirme kartının Matlab/Simulink ile doğrudan derlenebilmesi mümkün olmadığı için, simulink kütüphanesine Waijung kütüphanesi de eklenmiştir, böylelikle derleme işlemi sorunsuz yapılabilmektedir.

4.2.5. PID kontrolörünün yapısı

Üç faklı kısmın toplamı ile oluşan PID yapısının bileşenleri olan türev kazancı, integral kazancı ve oransal kazanç için sisteme yaptıkları etki her biri için farklıdır. Uygulamalarda bu bölümler ayrıca ya da birlikte uygulanabilir. Eşitlik (4.12)'de PID denetimi yapısına dair biçim gösterilmiştir.

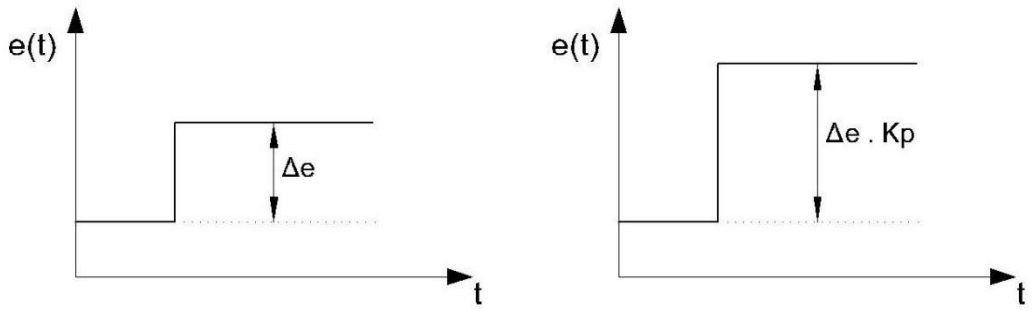
$$u(t) = K\left[e(t) + \frac{1}{T_i}\int e(t)d(t) + T_d\frac{de(t)}{dt}\right] \quad (4.12)$$

e(t) : Çıkış sinyali ve referans sinyalinin farkı
u(t) : Denetim sisteminden çıkan sinyal

4.2.5.1. Oransal denetim

Oransal denetleyici sistemin statik doğruluğunu artırmak için oransal olan Kp katsayısını üretir. Oransal denetim, çıkış sinyali için gerek duyulan besleme gücünü Kp katsayısını ayarlayarak verir. Ancak denetim sistemi çıkışında sürülen motorun ihtiyacı olan enerji ve anlık verilen enerji arasında bir denge olmalıdır. Bu dengenin gerçekleşmesinin zaman almaktadır. Sistemin çıkış sinyali ve referans sinyali arasındaki farkın sabit olarak devam etmesi oransal denetleyicinin özelliklerinden biridir. Oluşan bu farka offset hatası (Kararlı durum hatası) Denir. Offset hatasını düşürmek için Kp değeri azaltılabilir. Fakat Kp değeri azaldıkça çıkış sinyalinde referans değeri çevresinde salınım artacaktır. Offset hatasına dair değerin yüksek olacağı düşünülerek uygun bir Kp değerinin seçilmesi gereklidir. Eğer çıkış sinyalindeki hata devam ediyor ise, denetleyici çıkışında herhangi bir değişiklik olmaz.

K kazancına sahip sistemin denetim çıkış işareti giriş değerine belirli bir oranla bağlı olduğu için Proportional (Oransal) denetim sistemi olarak isimlendirilmiştir. Şekil 4.13'de sabit hata ile denetim birimi değerinin değişmesi gösterilmiştir. Sistem çıkışının zamana bağlı tanım bölgesi eşitlik 4.13'de görülmektedir.



Şekil 4.13. Oransal denetleyicinin birim basamak cevabı

$$u(t) = Ke(t) \tag{4.13}$$

Eğer eşitlik (4.12) eşitlik (4.13)'e dönüşebilecek şekilde bir sadeleştirme yapılırsa denetim sinyalinin sistemin hatası ile bir orantıya sahip olduğu görülebilir. Geri beslemeli sistemler için en yüzeysel kontrol şekli budur.

4.2.5.2. İntegral denetimi

Statik doğruluk ve kontrol miktarının artması hatanın sönümlenmemesi ile orantılıdır. Denetim sisteme eklenecek bir integral kontrol bloğu çıkışın sinyalinin kararlı hal hatasını düşürmektedir. Ancak oransal denetleyici değerinin sıfırlanması için çıkış sinyalinde hata olmaması gerekir, bunu da integral denetleyici ile düzenlemek mümkündür. Sistemdeki kalıcı hataya (e_0) ve kalıcı halin denetim işaretine (u_0) dendiğinde:

$$u_0 = (e_0 + \frac{e_0}{T_i} t) \tag{4.14}$$

(e_0) : Sistemdeki kalıcı hata

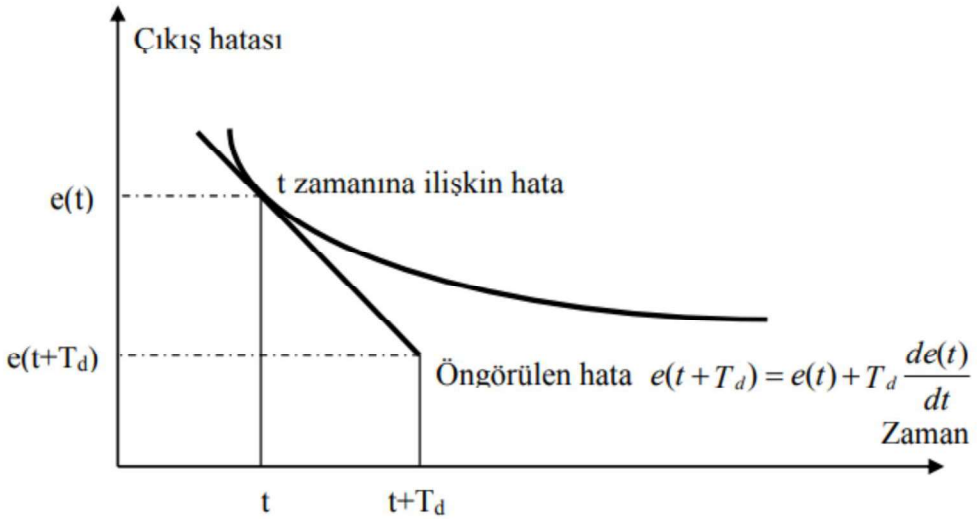
(u_0) : Kalıcı halin denetim işareti

Yukarıda verilen denklem göstermektedir ki, e_0 sıfır haricinde bir değer aldığı takdirde u_0 değeri sabit bir sayı almamaktadır. u_0 değerinin sabit olmaması sayesinde integral kontrolörü eklenen sistemde hatalar kalıcı olmayacaktır. Denetim mekanizmasındaki integral kontrol bloğu, sistemdeki kazanç değerine ihtiyaç duymadan, sadece giriş sinyali ile u_0 değerinin belirlenmesini sağlar. Böylelikle integral kontrolör oransal kontrolörün sıfırlanmasını sağlar.

4.2.5.3. Türev kontrolör

Kapalı çevrim sistemlerin kararlılığı türev denetin bloğunun kullanımı ile artmaktadır. Ancak çıkış sinyaline etki eden bu süreç zaman almaktadır. Türev kontrolörü ve oransal kontrolörün değerleri öngörülen hataya göre belirlenir. Şekil 4.14'de görülen eğrinin eğimi hatanın öngörülmesine yardımcı olur. Eşitlik (4.15) eğime dair bilgi alınmasını sağlar.

$$e(t + T_d) = e(t) + T_d \frac{de}{dt} \tag{4.15}$$



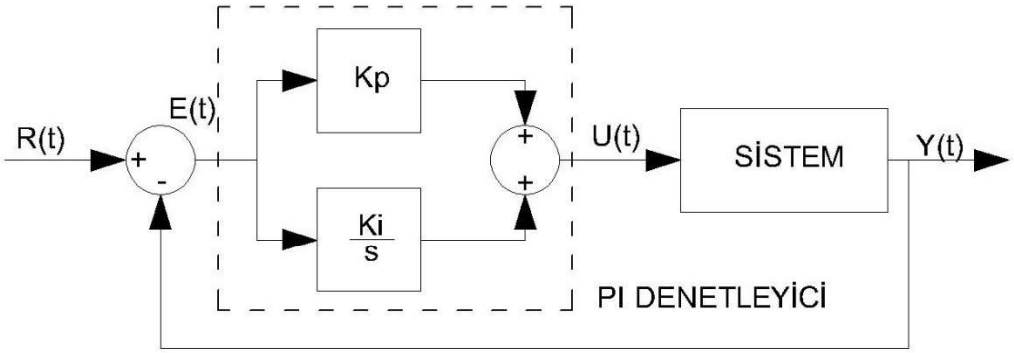
Şekil 4.14. Türev denetleyicisi eğim kontrolü

Grafikte görüldüğü üzere sistem çıkışındaki hata değişken değil ise türevsel denetleyici herhangi bir değer sağlamaz, türevsel denetleyicinin çıkışı hatanın değişimindeki hız ile orantılıdır.

4.2.5.4. PI denetimi

Oransal denetleyici tarafından oluşturulabilecek offset hatası otomatik veya manuel olarak düzeltilebilir. Oransal denetleyici ile birlikte kullanılacak integral denetleyici, yani bir integral alma devresi, çıkış sinyali ile referans sinyali arasındaki farkın zamana göre integralini alır. Bu işlem sistem çıkış sinyali ile istenen referans sinyalinin örtüşmesini sağlayacaktır.

İntegral denetleyici, integral alma işlemini hata sinyali sönümleninceye kadar tekrarlayacaktır. Referans sinyali ve çıkış sinyali arasındaki fark kapanıp sıfır olduğunda integral denetleyici integral almayı durduracaktır. Ancak sürecin devamında çıkış sinyali ile referans sinyali arasında yine bir fark oluşması durumunda, bu farkı sönümlemek için integral denetleyici integral almaya devam edecektir.



Şekil 4.15. Oransal ve Integral denetleyiciye dair blok şema

Oransal denetim ve integral denetim sisteminin birlikte kullanılması durumunda, çıkış sinyali ilk aşamada aşırı salınım yapar ve daha sonra referans değeri ile eşitlenir. Çıkış sinyalinin zamana bağlı bölgede gösterimi eşitlik 4.16'da verilmiştir. Kp oransal denetleyici tarafından sağlanan kazanımı, K_I integral denetleyici tarafından sağlanan kazanımı göstermektedir.

$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(t)dt \tag{4.16}$$

K_I : İntegral denetiminden gelen katsayı

K_P : Oransal denetim sisteminin katsayı

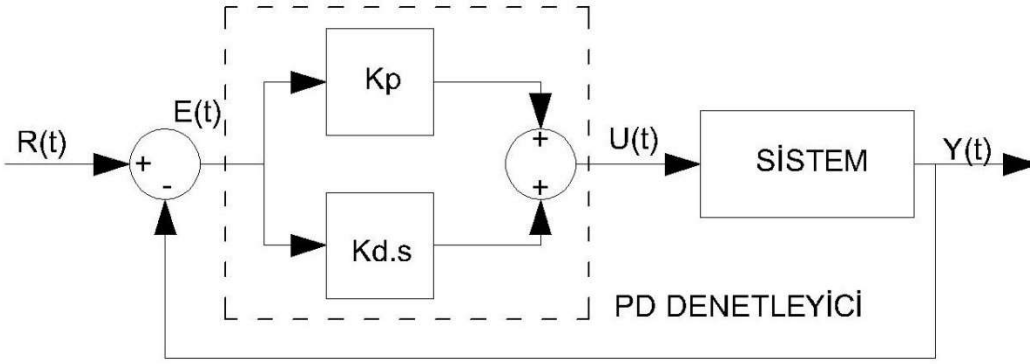
4.2.5.5. PD denetimi

Oransal denetleyicinin oluşturabileceği offset hatası sadece integral denetleyici tarafından değil, türev denetimi ile de sönümlenebilir. Fakat türev denetleyici ve oransal denetleyicinin birlikte kullanılmasındaki asıl amaç, çıkış sinyalinde oluşabilecek olan aşımlar ve düşük kalma durumunun sürecini dengelemektir. Bu düzenlemeye etki eden türev alıcı devre, bir miktar offset hatasının oluşmasına neden de olabilir. Oransal ve türev denetleyicilerinin birlikte kullanımına dair çıkış sinyalinin

denklemi eşitlik 4.17'de verilmiştir. Ayrıca bu sisteme dair blok şema da şekil 4.16'de görülmektedir.

$$u(t) = K_P e(t) + K_D \frac{d}{dt} e(t) \tag{4.17}$$

K_D : Türev denetiminden gelen katsayı



Şekil 4.16. Oransal ve Türev denetleyici blok şeması

4.2.5.6. PID denetimi

Denetim açısından daha zor ve kompleks uygulamalarda, oransal denetimin tek başına kullanılması, integral denetimi ile birlikte kullanılması veya türev denetimi ile birlikte kullanılması yeterli olmayacaktır. Böyle durumlar için üç denetim mekanizmasının da birlikte kullanıldığı PID denetleyici sistem ihtiyacı karşılayabilecektir. PID denetimi, sistemde oransal denetim kaynaklı oluşan offset hatasını integral denetimi ile düzenleyecek, integral denetim nedeni ile oluşacak aşımlar ise türev denetimi ile azaltılacaktır.

Şekil 4.20'de bu üç denetim mekanizmasının birlikte kullanıldığı PID denetleyicinin şeması görülmektedir. Çıkış sinyali ve referans sinyalinin farkı ile oluşan E(t) sinyali PID denetimine girerek, denetim mekanizması tarafından integrali ve türevi alınır. Çıkışa dair matematiksel denklem ise eşitlik 4.18'teki gibi olacaktır.

$$u(t) = K_p E(t) + K_I \int_0^t E(t)\, dt + K_D \frac{d}{dt} E(t) \tag{4.18}$$

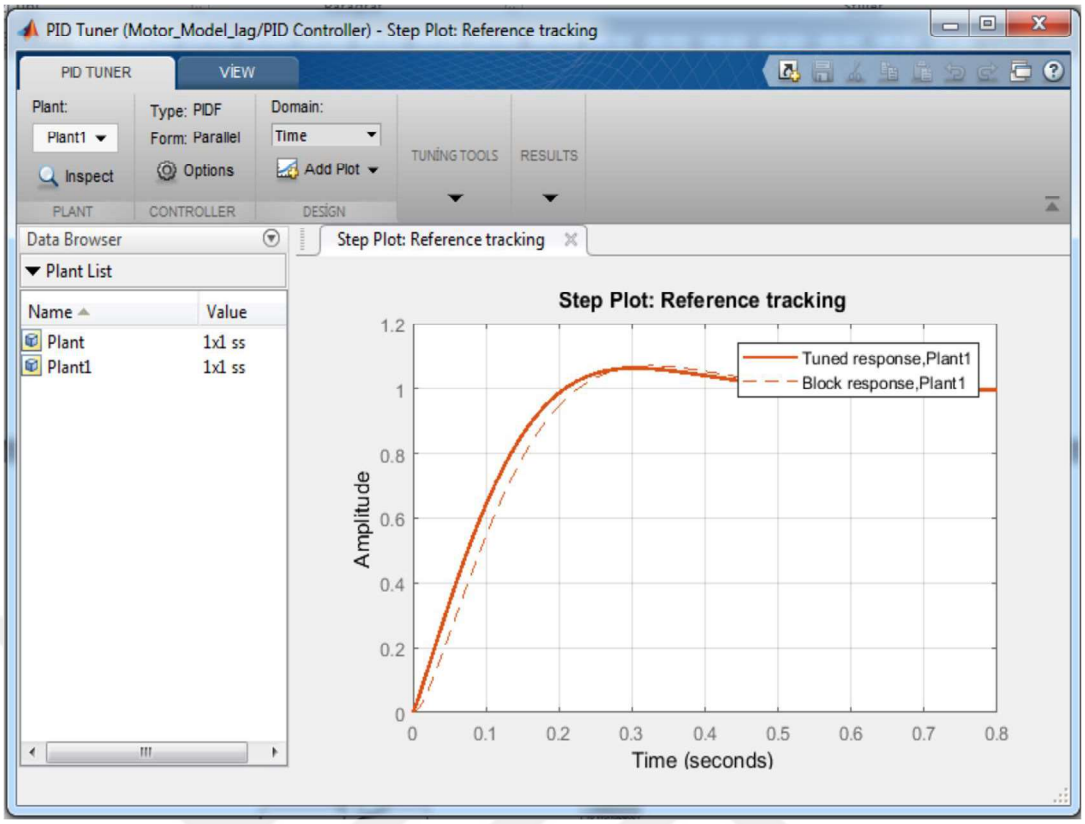
Eşitlikte verilen K_D; türev denetiminden gelen katsayıyı, K_I; integral denetiminden gelen katsayıyı, K_P; oransal denetim sisteminin katsayısını temsil etmektedir. Denetim sisteminden çıkan U(t) sinyali kontrol edilmek istenen sisteme gider ve dış etkenlere bağlı olan Y(t) sinyali açığa çıkar. Oluşan Y(t) sinyali, E(t) sinyalinin oluşturulması için fark alıcı blok tarafından referans sinyalinden çıkarılır. Bahsedilen bu çevrim, E(t) sinyali sönümlenip sıfır değerine ulaşıncaya kadar devam eder. Böylelikle hata sinyalinden kurtulmuş ve referans değerine ulaşmış bir sistem elde edilir.

Kontrol sisteminin basit ve mikrodenetleyiciler tarafından işlenebilir olarak tasarlanması adına, gerekmediği takdirde PID denetleyicinin kullanılmaması önerilir. Sisteme PI veya PD denetim sistemleri yeterli oluyorsa, sistemi karmaşıklaştırmamak gerekir.

4.2.6. PID denetimi katsayılarının ayarlanması

PID denetimi için üç denetleyicinin katsayılarını belirlemek gerekmektedir. Matlab/Simulink programı kullanmadan el ile üç denetleyicinin katsayılarını belirleme işlemi farklı ve zor yöntemlerle mümkündür. Bu yöntemler çok fazla deneme yanılma ile sonuca ulaştırması ve fazla zaman alması nedeni ile tercih edilmemektedir. Kontrol sisteminin çok fazla deneme yanılma ile ayarlanması aynı zamanda arızalara da neden olacaktır.

Optimum değerlerin bulunması ve tasarımın gerçekleştirilmesi için Matlab/Simulink kütüphanesinde bulunan PID tuner bloğu kullanılması tasarımcının işini oldukça kolaylaştırmaktadır. Şekil 4.17'de PID Tuner bloğunun ayarlarının yapılabildiği sayfa görülmektedir.

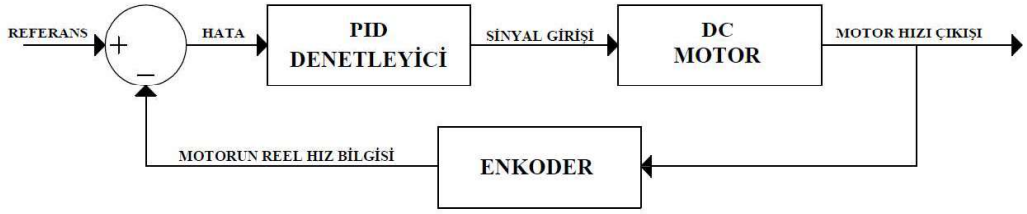


Şekil 4.17. PID Tuner sayfa görünümü

4.2.6.1. PID kontrolü ile DC motor sürme

Kontrol laboratuvarları için tasarlanmış olan bu deney setinde, motor kontrolü PID kontrolörü ile sağlanmaktadır. Farklı motor kontrol yöntemleri arasından bu yöntemin seçilmesinin sebebi, PID kontrolörünün yaygın bir kullanım alanı olması ve otomatik kontrol derslerinde teorik olarak işlenen bir konu olmasıdır.

Kapalı çevrim sistemlerde kontrolör, çevrimin çıkış verisini alarak giriş sinyali ile karşılaştırır. Karşılaştırma sonucunu istenen değere ulaştırmak için optimizasyon yapar.



Şekil 4.18. Geri Besleme elemanına sahip kapalı çevrim denetim sistemi

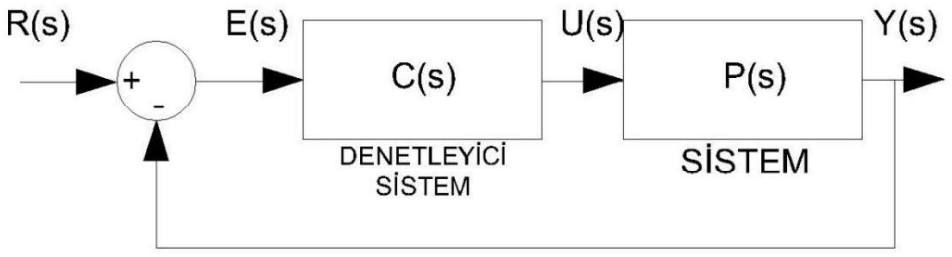
Şekil 4.18'da kapalı çevrim bir kontrolöre dair örnek verilmiştir. Bu örnekte kontrolör geri beslemeli bir yapıdadır. Şekil 4.18'daki örnekte geri besleme tarafından sağlanan hata değeri referans alınarak çıkış sinyali oluşturulur ve kontrol mekanizması elde edilmiş olur.

PID üç denetleyici elemanın baş harflerinin kısaltması olarak oluşturulmuştur. Bunlar;

- P: Proportional (Oransal)
- I: Integral (İntegral)
- D: Derivative (Türev)

Bu üç farklı denetleyici tipi bir araya gelerek PID denetleme mekanizmasını oluşturmaktadır.PID denetleyici sisteminde değişken sayılarının az olması ve ana hatların basit kavranabilmesi nedeni ile günümüz endüstrisinde yaygın kullanım alanına sahiptir.

Şekil 4.19'de görülen sistemde; denetim mekanizmasının çıkışı U(s), hata sinyali E(s), sistemin çıkış değeri Y(s) ve sisteme referans olarak kaynaktan gelen sinyal ise R(s)'dir. PID denetim mekanizması, aldığı giriş sinyalinden çıkış sinyalini çıkararak aradaki farkı tespit etmektedir. Tespit edilen bu farkın sönümlenip çıkış değerinin istenen duruma ulaşıncaya kadar giriş sinyaline gerekli katsayıları uygulaması yöntemi ile çalışmaktadır. Bu yöntemin sürekli uygulanması ile giriş sinyali ile çıkış değerleri arasındaki farkın olabilecek en hızlı şekilde kapanması hedeflenir. C(s) ismi ile şekil 4.19'de gösterilen denetleyici sistem, P, PD, PI veya PID içerisinden birinin dahil olduğu bir algoritma yapısı olabilir. Tezimde sadece Oransal, integral, türev denetleyicisinden değil, P, PD, PI denetim mekanizmalarının çalışma karakteristiklerinden de bahsedilecektir.



Şekil 4.19. Geri beslemeli PID Denetimine dair basit örnek

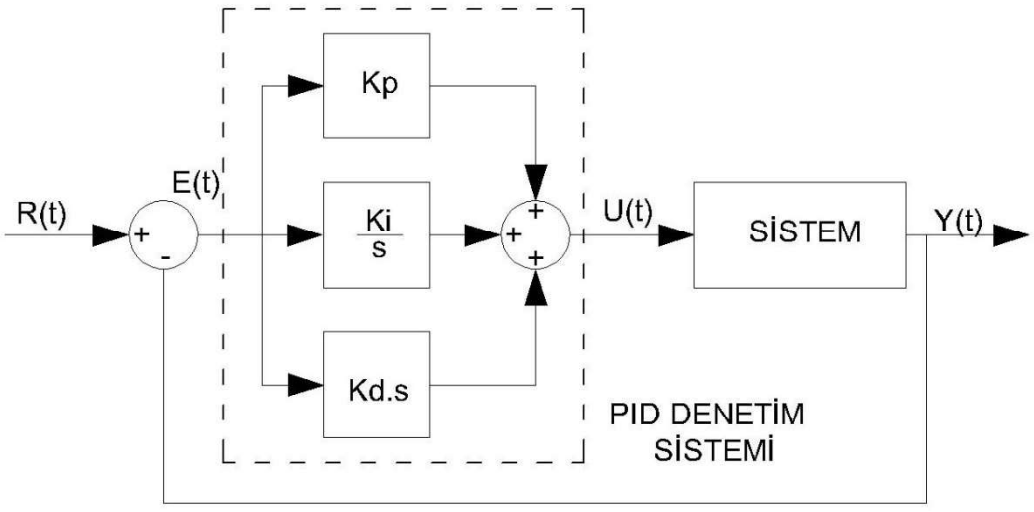
PID denetiminde laplas fonksiyonlarının etkisi büyüktür. Denetim esnasında "s" domaininde 3 farklı denklem oluşturulur. Birinci fonksiyon sisteme dair Kp kazancı, ikinci fonksiyon sisteme dair laplas fonksiyonunun türevinin "s" ile çarpımıdır, üçüncü fonksiyon sisteme dair laplas fonksiyonunun integralinin "1/s" ile çarpımıdır. Bu değerler Kp Ki ve Kd kazançları olarak ifade edilir. PID denetim sistemine dair transfer fonksiyonu 4.19 ve 4.20 numaralı denklemlerde görüldüğü gibidir.

$$C(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D.S)E(s) \tag{4.19}$$

$$C(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D.S \tag{4.20}$$

E(s) : Çıkış sinyali ve referans sinyalinin farkı
U(s) : Denetim sisteminden çıkan sinyal
Y(s) : Dış etkenlere bağlı olan sinyal
C(s) : Denetleyici sistemin oluşturduğu sinyal

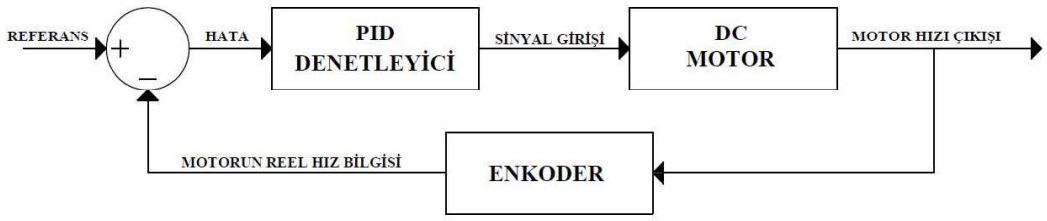
PID denetim sürecinde Kd, Ki ve Pp değerlerinin tespiti, sistemin düzgün kontrolü için önem arz etmektedir. Bu değerler kolay bulunamazlar, genelde yakın değerler bulunur ve net bir çözüm yöntemi yoktur. Bu değerler belirlenirken, en kısa sürede hatanın giderilmesi, en az değer aşımı gibi etkenler göz önünde bulundurulur. Bu katsayıların sisteme dahil edilmesi ile akış diyagramı şekil 4.20'deki halini alır.



Şekil 4.20. PID Denetleyicinin Yapısı

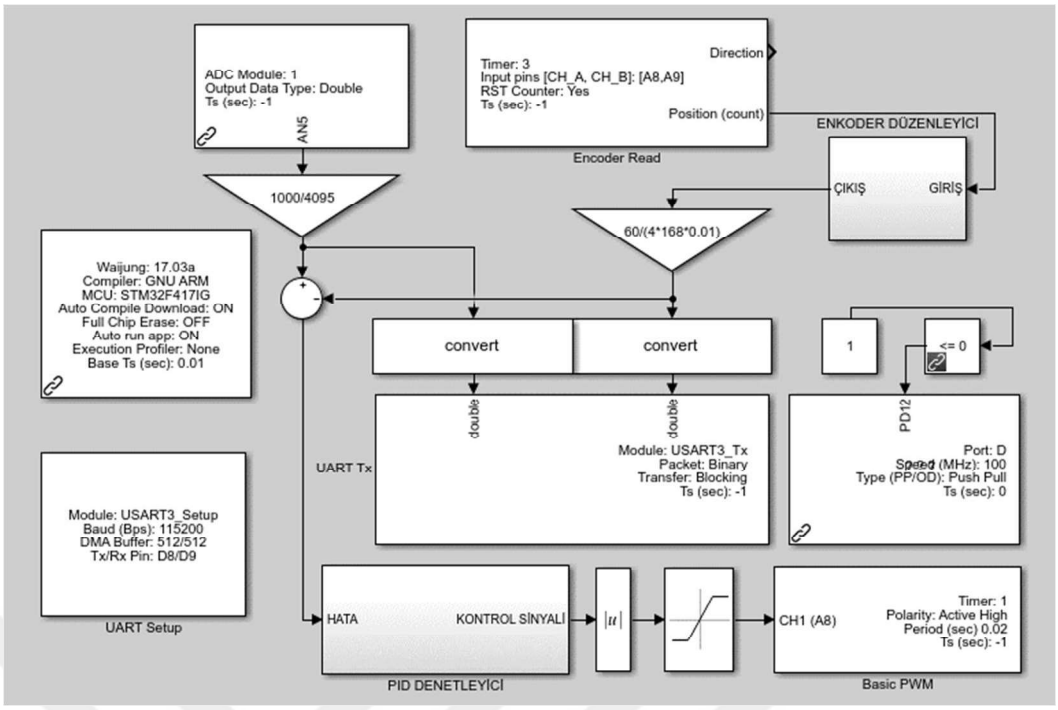
4.2.6.2. DC motor için PID yöntemi ile hız kontrolünün sağlanması

PID Denetleyicisi ile DC motor kontrolünde şekil 4.21'daki kontrol yapısından yararlanıla bilinir. Enkoder motor hız verisini okuyarak referans olarak alınan hız değeri ile kıyaslama yapacaktır. Oluşan hata değeri PID tarafından çözümlenerek ihtiyaç duyulan sinyal üretilecektir.



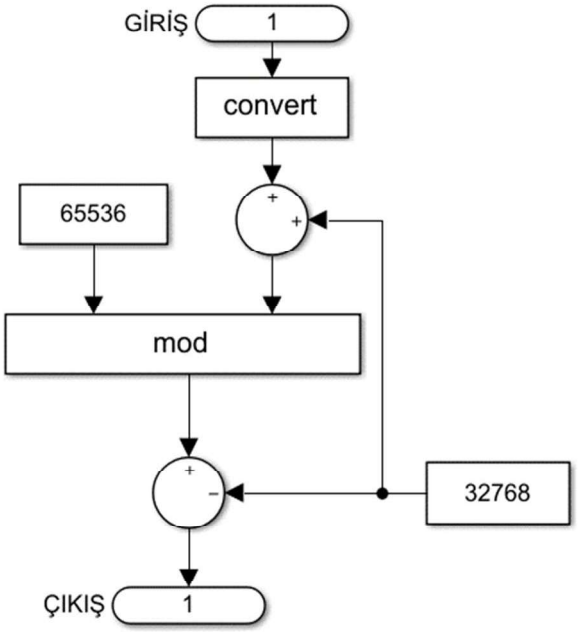
Şekil 4.21. DC Motor PID hız kontrol yapısı

STM32F4 discovery geliştirme kartı ile bir DC motoru sürmek için Matlab/Simulink ile bir model oluşturmak gerekmektedir. Matlab/Simulink'te model oluşturmak için Waijung kütüphanesinden yararlanılmalıdır, waijung kütüphanesi; Matlab/Simulink ve STM32F4 discovery geliştirme kartı arasında köprü olacaktır. DC motoru sürme işleminde hız kontrolü için PID denetleyicisinden yararlanılacak ise Şekil 4.21'da görülen kontrol yapısını baz alınarak gerçek zamanlı bir uygulamanın Matlab/Simulink'te tasarlanması gerekmektedir. Matlab/Simulink'te oluşturulan bu tasarım şekil 4.22'de görülmektedir. DC motorun hızı, potansiyometre kullanarak ADC ile ayarlanacak şekilde tasarlanmıştır. Kullanılan ADC 12bit değerindedir, bu nedenle ADC önündeki çarpan değeri 1000/4096 seçilmiştir (2^{12}=4096). ADC önüne koyulan bu çarpan 0 ile 1000 RPM arasında hız değişimi olanağı sağlayacaktır. Şekil 4.22'de görülen "Encoder read" bloğu motordaki hızın ölçüm imkanını sağlayacaktır. Bu blok için ayarlar yapılırken RST counter aktif hale getirilmelidir. "Encoder Read" bloğu önünde bulunan çarpan değeri ise motorun enkoderinden gelen verinin hız değerine dönüştürülmesini sağlamaktadır. ADC'den gelen veri, enkoderden gelen reel hız verisi ile karşılaştırılır ve PID denetleyici bloğunda işleme tabi tutulup çıkış PWM sinyali olarak alınır. Şekil 4.22'de görülen bir diğer blok olan Digital Output bloğu motor dönüş yönü için çıkış vermektedir, bu değerin 0 veya 1 yapılması dönüş yönünü değiştirecektir.



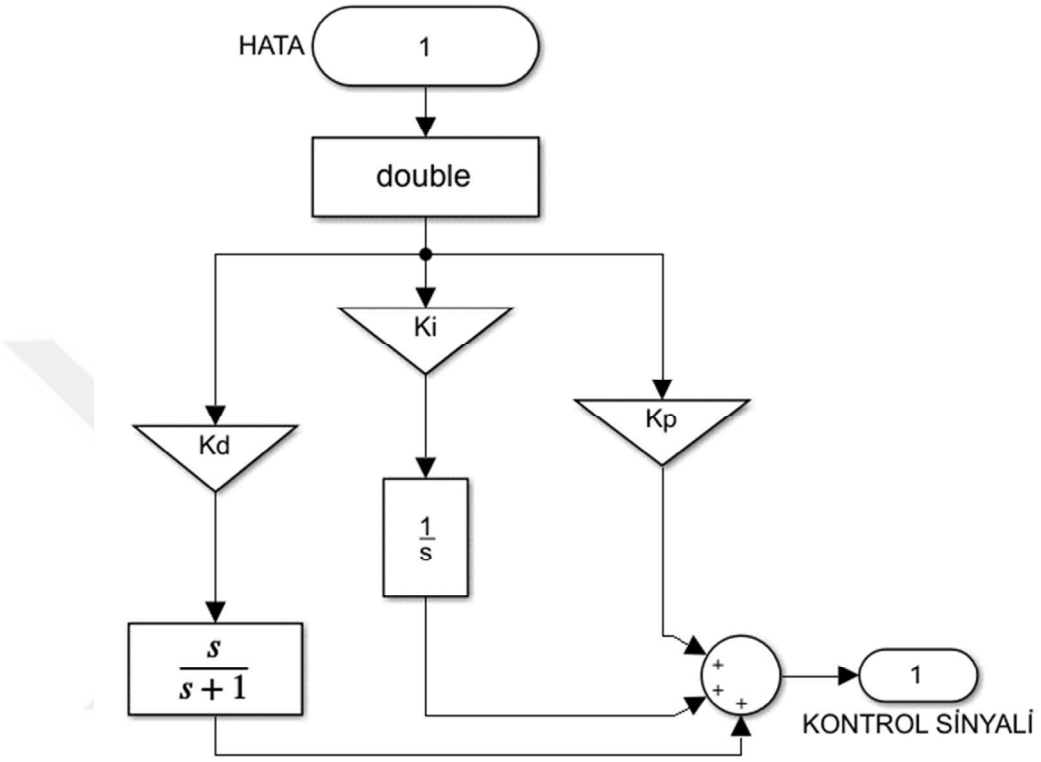
Şekil 4.22. Matlab/Simulink PID hız kontrol yapısı

Şekil 4.22'de görülen bloklar içerisinde bazı bloklar daha karmaşık bir yapıya da sahiptir. Motora bağlı olan enkoderden alınan verilerin reel motor hızını gösterir olması için enkoderden gelen veriyi düzenlemek için bir blok tasarlanmıştır. Bu tasarımı gösterir blok şema, şekil 4.23'te gösterilmektedir.



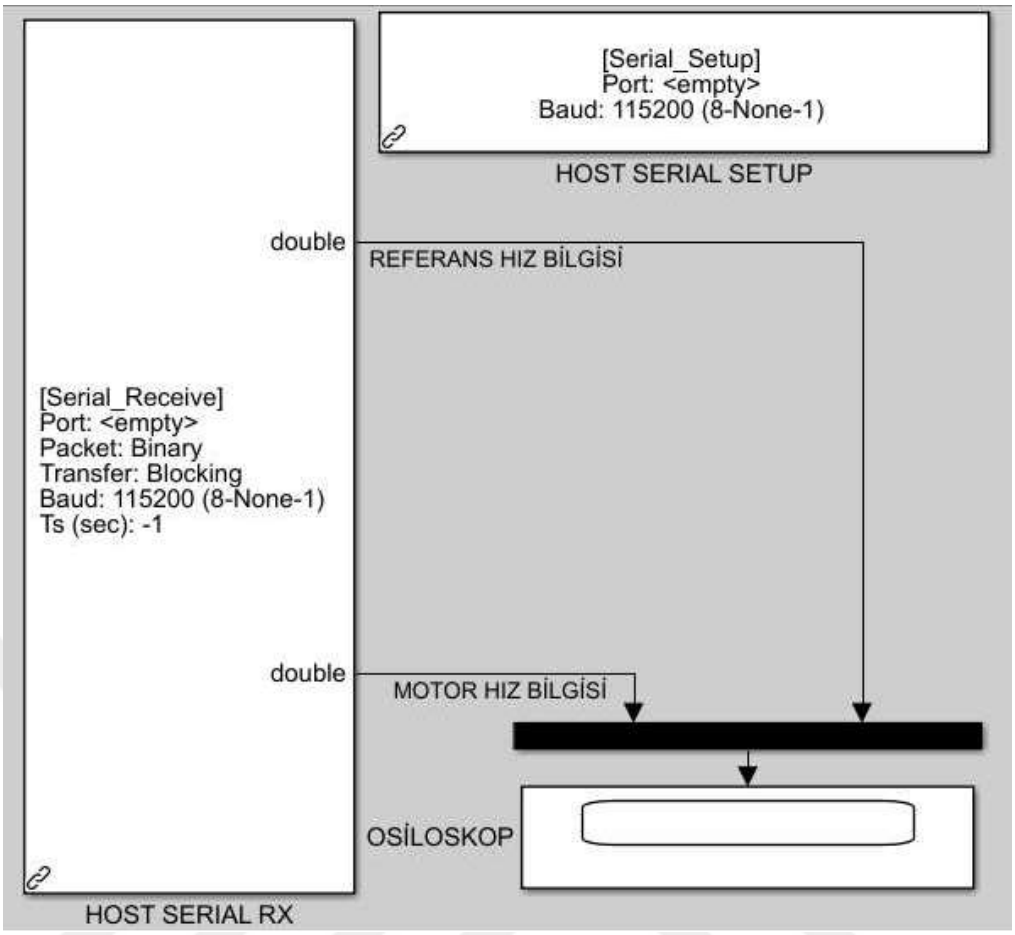
Şekil 4.23. Enkoder düzenleyici

Matlab/Simulink ortamında 3 farklı şekilde PID denetleyicisi tasarlanabilmektedir. Şekil 4.24'de görülen Kp, Ki, Kd çarpanları denetleyicinin çıkış değerlerini doğrudan etkileyebilmektedir. Bu çarpanların belirlenmesi için farklı yaklaşımlar bulunmuştur. Bu yaklaşımlar sonucu çarpanlar şekil 4.24'deki katsayı bloklarına girilmelidir.



Şekil 4.24. Sabit katsayılı PID blok şeması

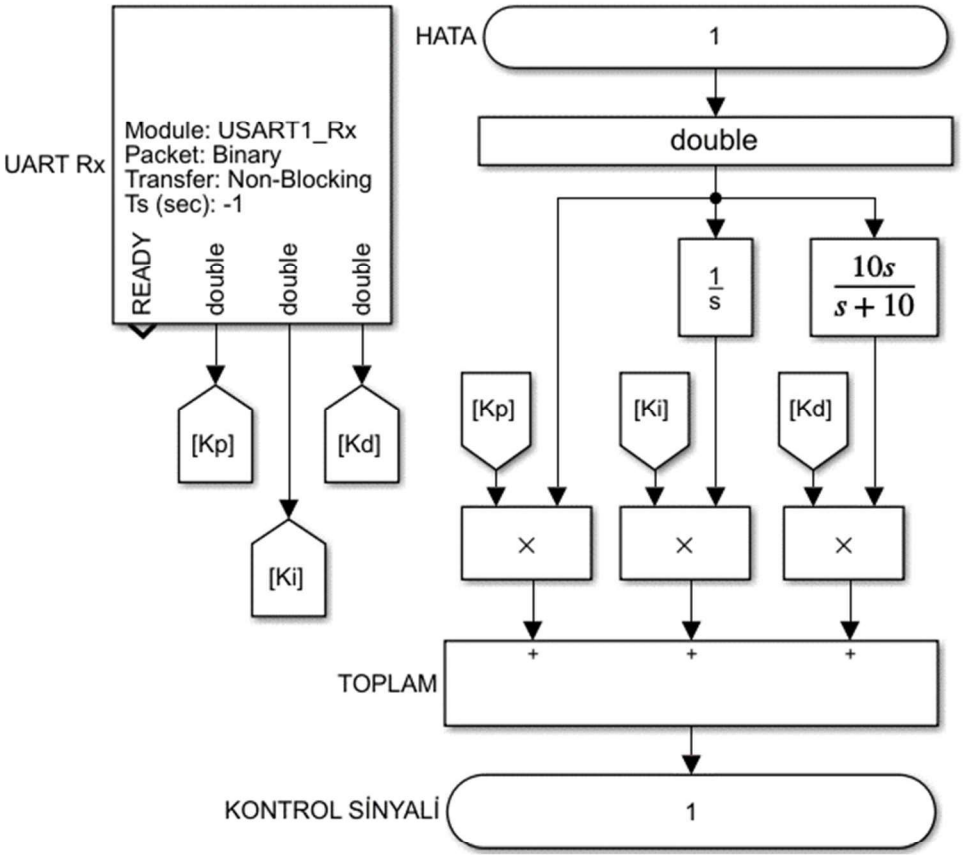
DC motorun hız kontrolünü sağlamak amacıyla tasarımı gerçekleştirilen PID denetim sisteminin çalışma performansını inceleyebilmek için, referans olarak belirlenen hız değeri ve PID sonrası reel ölçülmüş olan hız değerlerinin alınıp, karşılaştırılabilmesi gerekmektedir. Hız verilerinin STM32F4 discovery geliştirme kartından Matlab/Simulink ortamına aktarılabilmesi Waijung bloklarında bulunan host serial RX bloğu ile mümkündür. Bu model yapısı şekil 4.25'de gösterilmiştir. Host serial RX bloğu sistemden veri okuma işlemini seri haberleşme protokolü ile yapmaktadır. Veri izleme ya da veri toplama odaklı uygulamalarda Host bloğunun konfigürasyon değerlerinin girildiği ayarlar menüsünde çözümleyici olarak "fixed step" seçilmesi ve bu kısımda örnekleme için periyot değerinin uygun bir değer girilmesi, daha iyi sonuçlar alınmasına olanak sağlayacaktır.



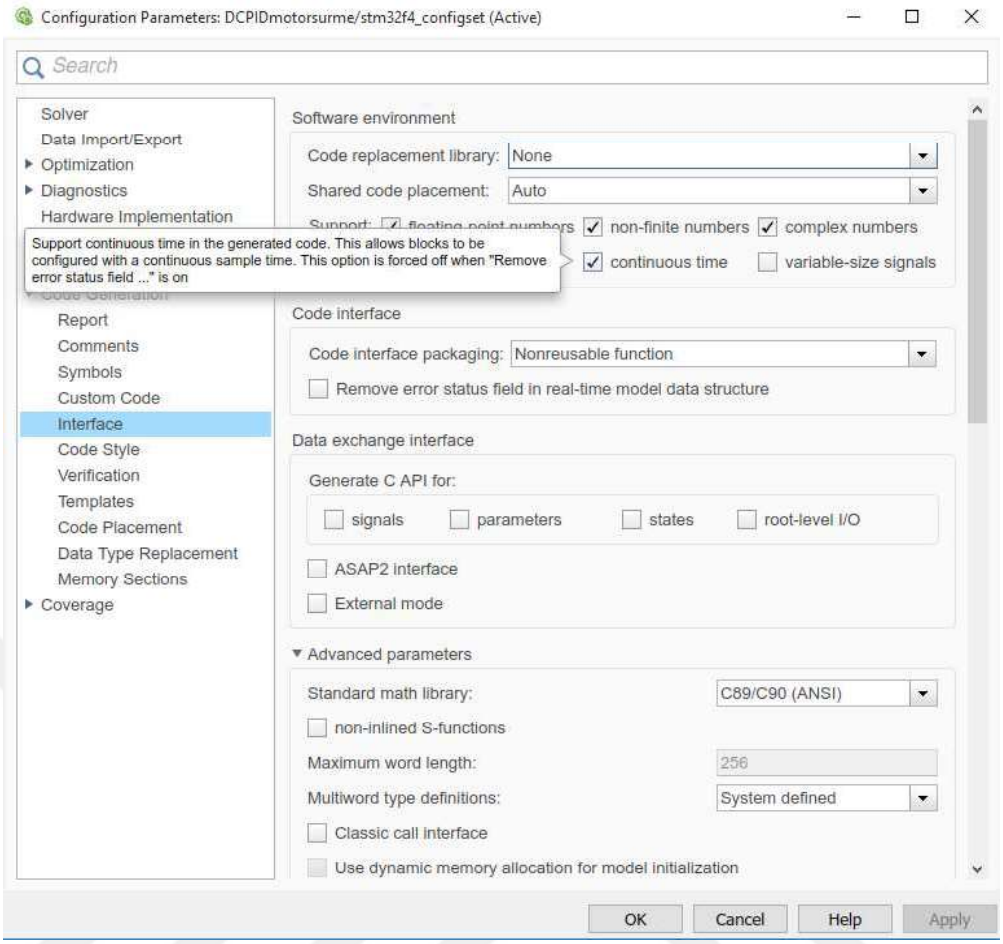
Şekil 4.25. Seri Haberleşme için Matlab/Simulink modeli

PID denetimi ile yapılan DC motor hız kontrolü deney setinde Kp, Ki ve Dd çarpanları sistem üzerinde yapılacak denemeler ile belirlenmesi planlandıysa, şekil 4.22'de gösterilmiş olan Matlab/Simulink modelinde PID Denetleme bloğu olarak gösterilmiş kısımda şekil 4.26'de tasarımı yapılmış olan blok tasarımı kullanılmalıdır. Şekil 4.25'de görülen blok tasarımı sistem çalışır durumda iken seri haberleşme yaparak, PID katsayı değerlerinin değiştirilmesini mümkün kılmaktadır. Bu sistem; PID katsayılarında yapılan değişikliğin motor hızına yaptığı etkiyi canlı olarak görme imkânı tanımaktadır, bu durum da en uygun katsayıların belirlenmesi için bir yöntem oluşturmaktadır. Bilgisayarda belirlenen Kp, Ki ve Dd değerlerinin gönderilmesi Şekil 4.26'de tasarıma eklenmiş olan UART RX bloğu ile mümkündür. Şekil 4.26'de 1/s ve s blokları kullanılmıştır, Matlab/Simulink uygulamalarında ayrık zamanlı çalışmalar için discrete ve türev blokları kullanılmalıdır. Fakat yapılan tasarımda 1/s ve s blokları; yani sürekli zamana dair işlem yapılmıştır. Bu işlemin çalışabilmesi için şekil 4.27'de görülmekte olan sürekli zaman seçeneği aktif edilmelidir, şekil 4.28'deki ekran,

konfigürasyon parametreleri bölümünün bir alt bölümü olan ara yüz kısmından açılabilmektedir.

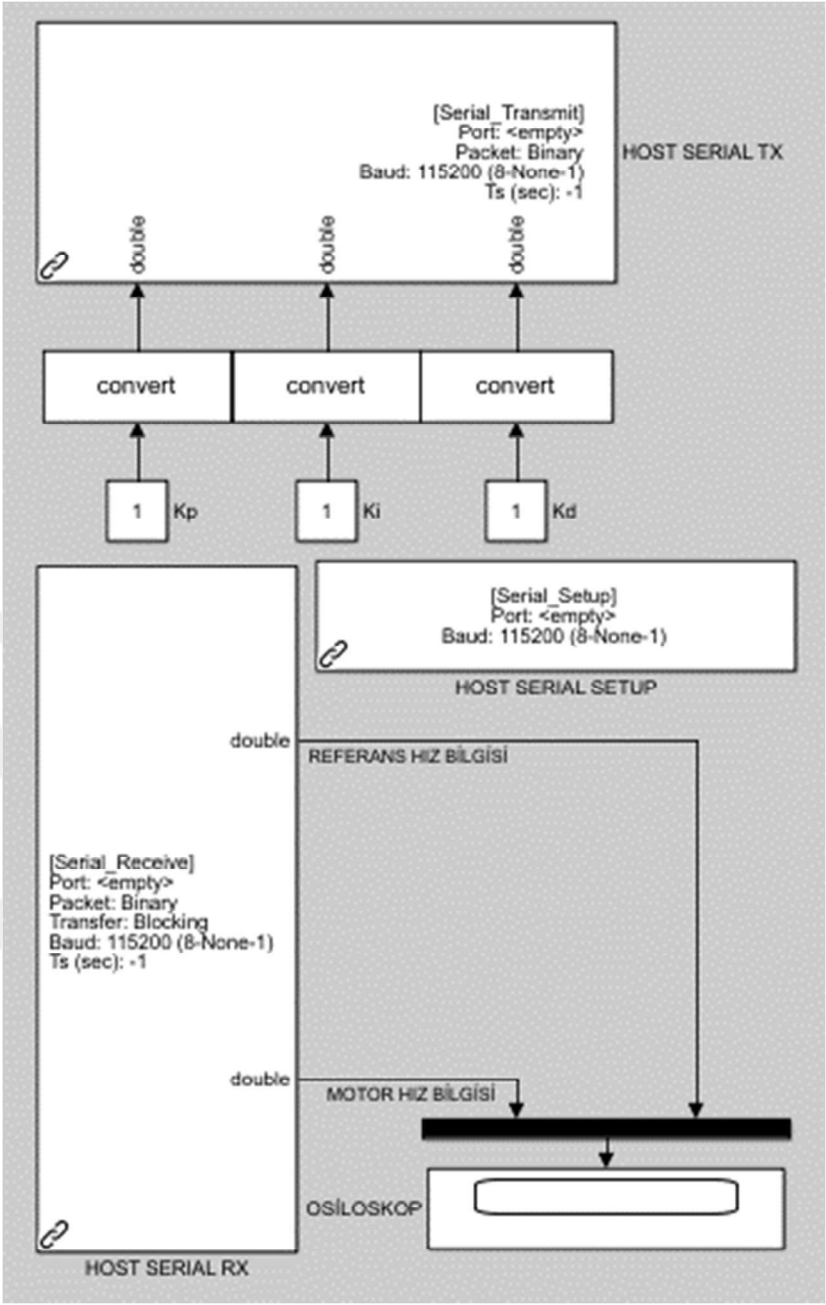


Şekil 4.26. Katsayısı değiştirilebilir PID Bloğu



Şekil 4.27. Model konfigürasyon parametreleri

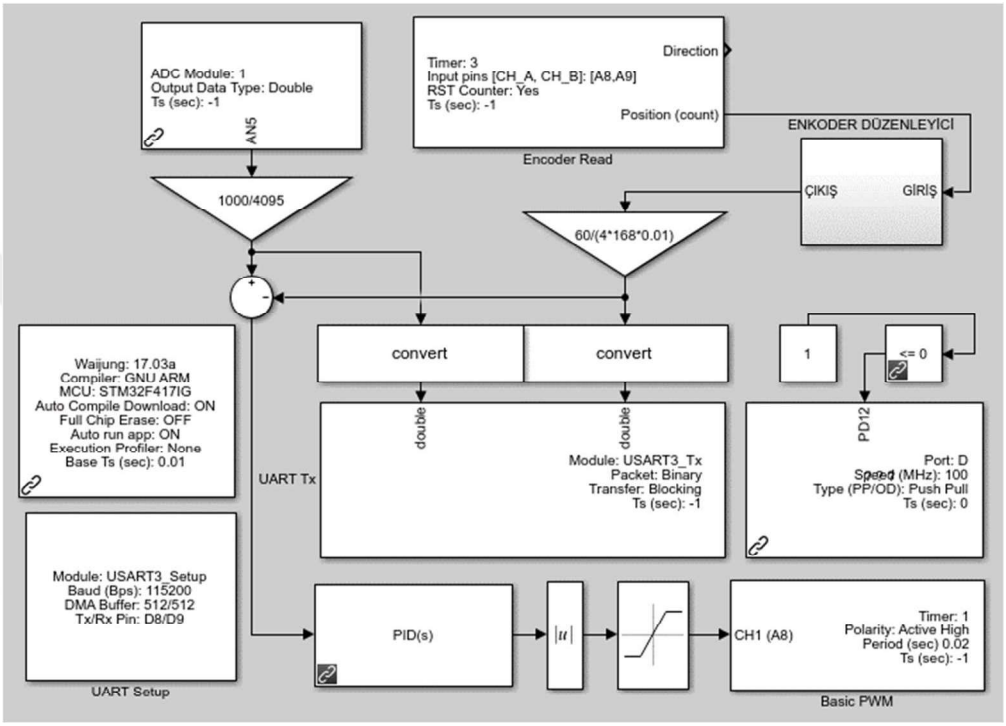
PID denetimi ile yapılan DC motor hız kontrolü deney setinde Kp, Ki ve Dd çarpan katsayıları Matlab/Simulink üzerinde belirlendiğinde bu verilerin STM32F4 discovery geliştirme kartına aktarımı ve STM32F4 discovery geliştirme kartından hız verilerinin anlık olarak bilgisayara aktarımında kullanılan Host Serial TX ve Host Serial RX blokları şekil 4.28'da gösterilen şekilde Matlab/Simulink'te tasarlanan sistem içine yerleştirilebilir. Host serial Tx bloğu ile Matlab/Simulink'te belirlenen Kp, Ki ve Kd çarpan katsayıları STM32F4 discovery geliştirme kartına gönderilirken, Host Serial Rx bloğu ile sistemden DC motor hız verileri bilgisayara aktarılacaktır.



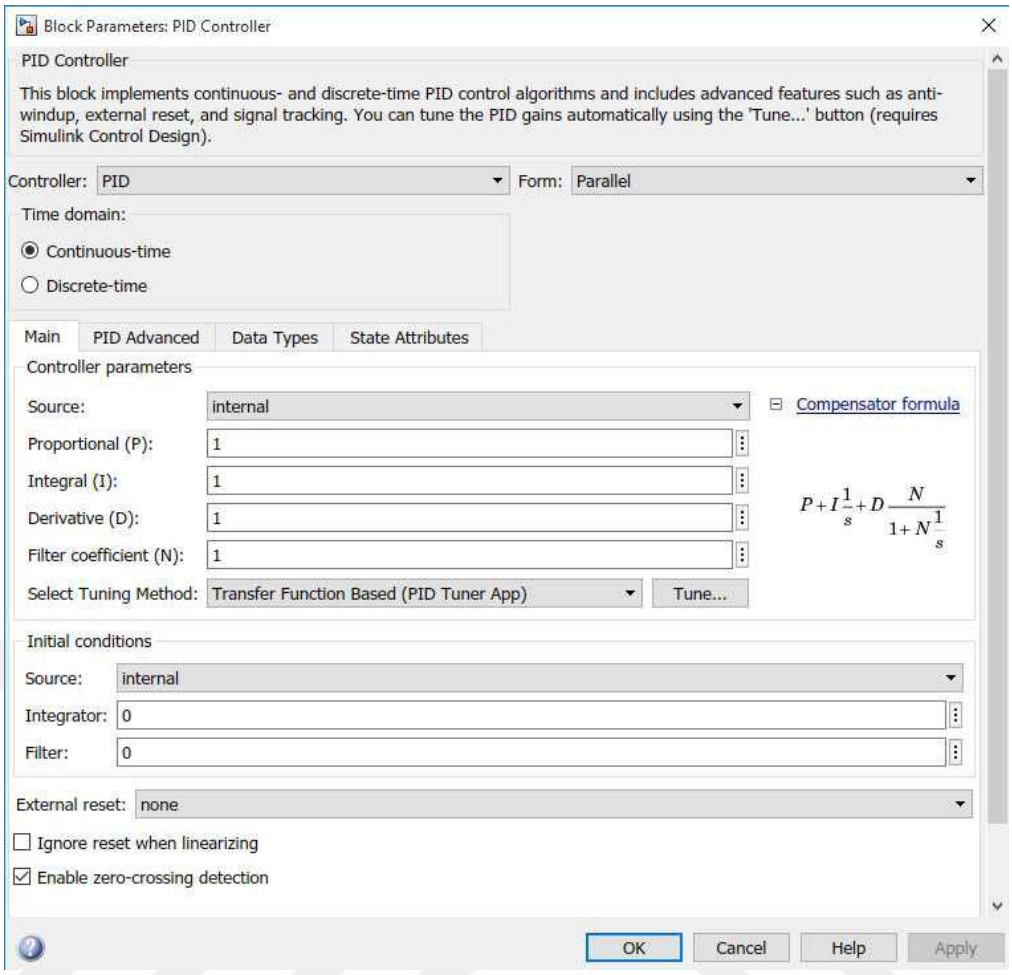
Şekil 4.28. Host serial blokları kullanımı için örnek tasarım

Yukarıda bahsedilen PID denetleyici yöntemleri haricinde Matlab/Simulink kütüphanesinde de bir PID denetleyicisi mevcuttur. Matlab/Simulink kütüphanesindeki hazır denetleyici kullanılmak istenirse, sistem tasarımı şekil 4.29'deki gibi düzenlenmelidir. Kütüphane içerisinden kullanılan PID denetleyicinin menüsüne girildiğinde Kp, Ki ve Kd katsayılarının değiştirilebildiği şekil 4.30'de görülmektedir. Şekil 4.30'de denetleyici parametrelerinin girildiği bölümde kaynak kısmında "external" seçeneği seçilmesi durumunda, parametre seçimi dışarıdan müdahale edilebilir duruma gelmektedir. Bu özellik haricinde yine aynı blok içerisinde

"tune" seçeneği bulunmaktadır. Bu seçenek katsayıların otomatik olarak ayarlanmasını sağlamaktadır. "Tune" seçeneği kısa yoldan sonuca ulaştıran kolay bir seçenek gibi görülse de sistem matematiksel olarak modellenmiş ve tasarıma uygulanmışsa kullanılabilmektedir. Hazırlanmış olan deney seti vasıtası ile sistemin matematiksel olarak yakın bir modeli tasarlanıp, tune özelliği ile yakın katsayılar belirlenip, el ile uygun değerlere yaklaşım sağlanabilir.



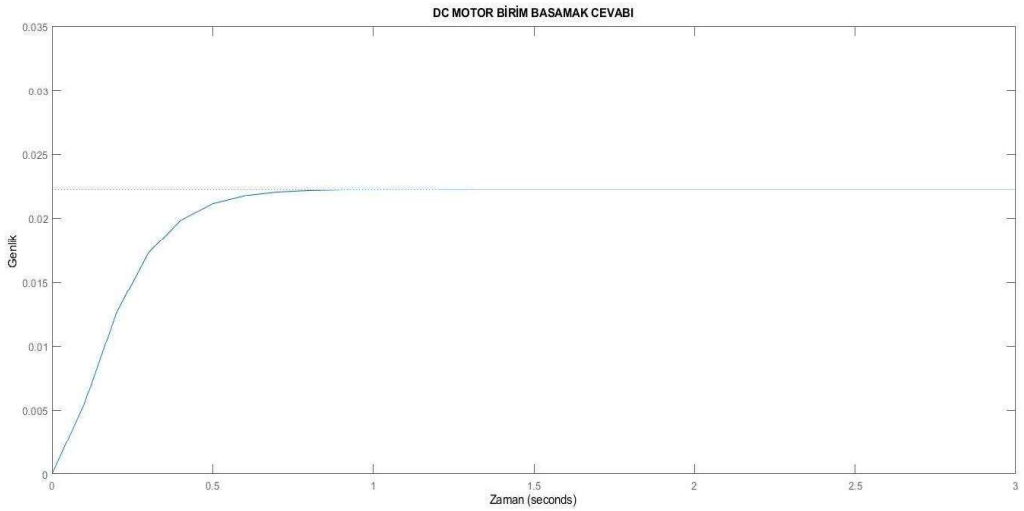
Şekil 4.29. Matlab/Simulink kütüphanesindeki PID denetimi için bir model



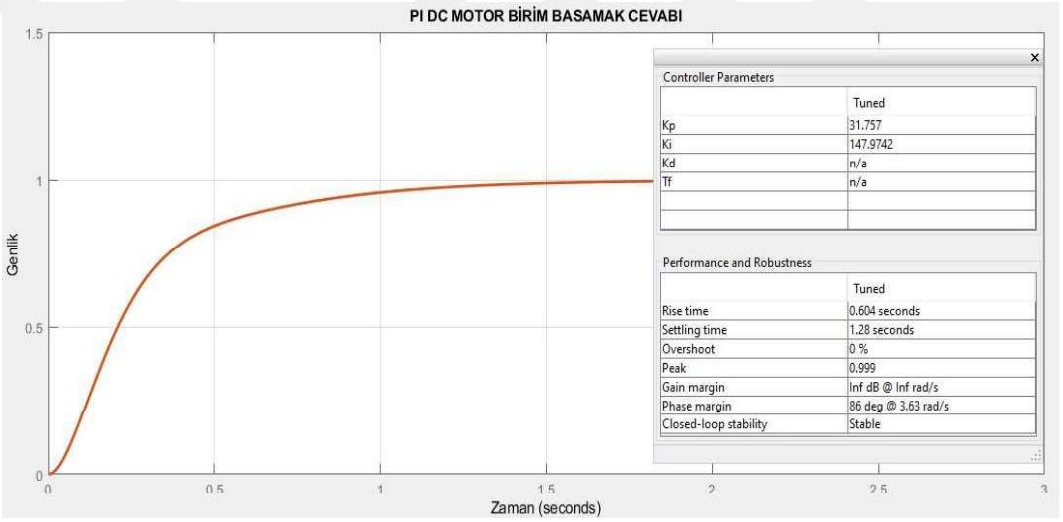
Şekil 4.30. Matlab/Simulink kütüphanesindeki PID denetleyici menüsü

Şekil 4.29'de tasarlanan sistem sonuçların bilgisayardan görülebilmesine uygun değildir, bu nedenle denetim yapısı bir haberleşme sistemine ihtiyaç duyacaktır. Haberleşme için Host serial Rx bloğu ile şekil 4.24'de tasarlanan model uygundur.

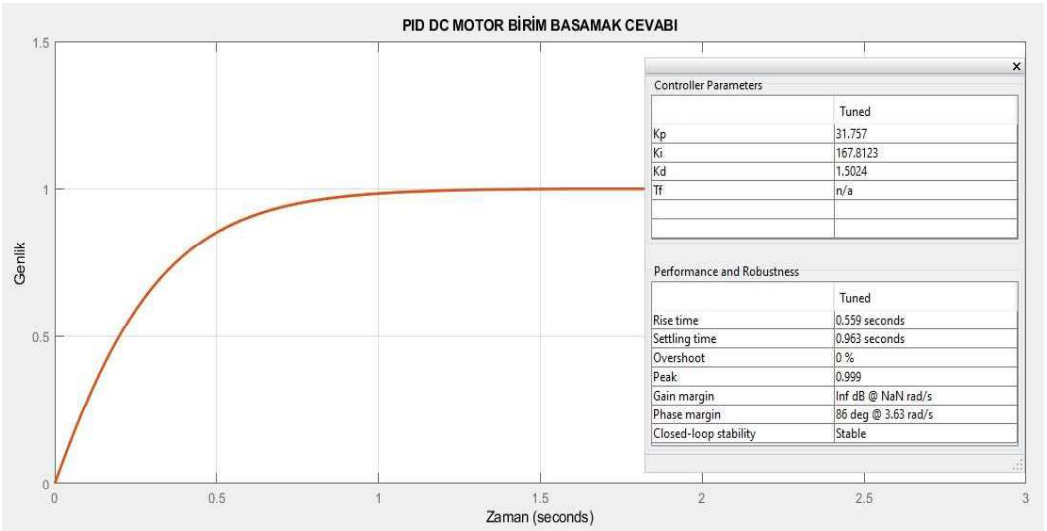
Bu tasarım ile deney setinin çalıştırılması durumunda motorun çıkış verisi olarak, Matlab üzerinden şekil 4.31'deki birim basamak cevabı alınacaktır. Ancak motorun PI denetimi ile sürülmesi durumunda uygun katsayıların da ayarlanması ile şekil 4.32'deki birim basamak cevabı görülmektedir. Şekil 4.33'te ise üç farklı denetim mekanizması, yani PID denetimi uygulanması ile oluşan grafik görülmektedir. Diğer başlıklarda bahsedilen, en uygun katsayı değerlerinin bulunması ise sonuçlar bölümünde değerlendirilmiştir.



Şekil 4.31. DC Motor birim basamak cevabı



Şekil 4.32. DC Motor PI birim basamak cevabı



Şekil 4.33. DC Motor PID Birim basamak cevabı

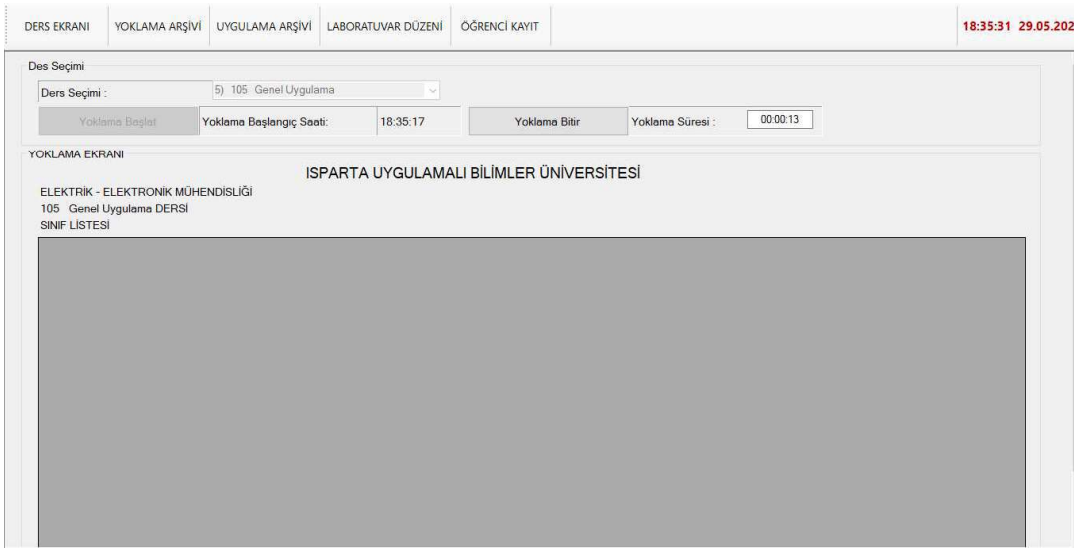
4.3. Laboratuvar Otomasyon Sisteminin Tasarımı ve Uygulaması

Bu çalışma kapsamında geliştirilen ikinci donanım olan laboratuvar otomasyon sistemi, laboratuvar uygulamaları için bir düzen içerisinde uygulamaların yapılmasını sağlamaktadır. Geliştirilen bilgisayar yazılımı ile uygulama ve ders süreçleri kayıt altına alınmaktadır. Geliştirilen bu yazılıma adapte edilen kart okuma ve deney setleri kontrol sistemi ise sistemin donanımsal alt yapısını oluşturmaktadır. Böylelikle laboratuvar uygulamalarında öğrenci tüm işlemlerinde kendi öğrenci kimlik kartından yararlanacaktır. Oluşturulan yazılım, öğrencinin yoklamasını alacak ve sorumlu olduğu dersler için deney setlerini kullanımına izin verecektir. Aynı zamanda yine tez kapsamında oluşturulan veri tabanı, öğrenci yoklamasını ve deney setleri kullanım geçmişini arşivleyecektir.

Tasarlanan sistem; Kişilere bağlı bir laboratuvar denetiminden elektronik ve yazılımsal bir denetime geçiş sağladığı için, Internet of Things (IoT) için bu alanda çalışan öğrencilere yol gösterici olacaktır. Ayrıca deney, geçmiş çalışmalarının arşivlenmesi, daha uzun ömürlü deney seti kullanımı ve arızalar için erken müdahale imkânı sağlayacaktır. Bu bölümde hazırlanan laboratuvar otomasyon sisteminin yazılım ve donanım kısımları ayrı ayrı incelenecektir.

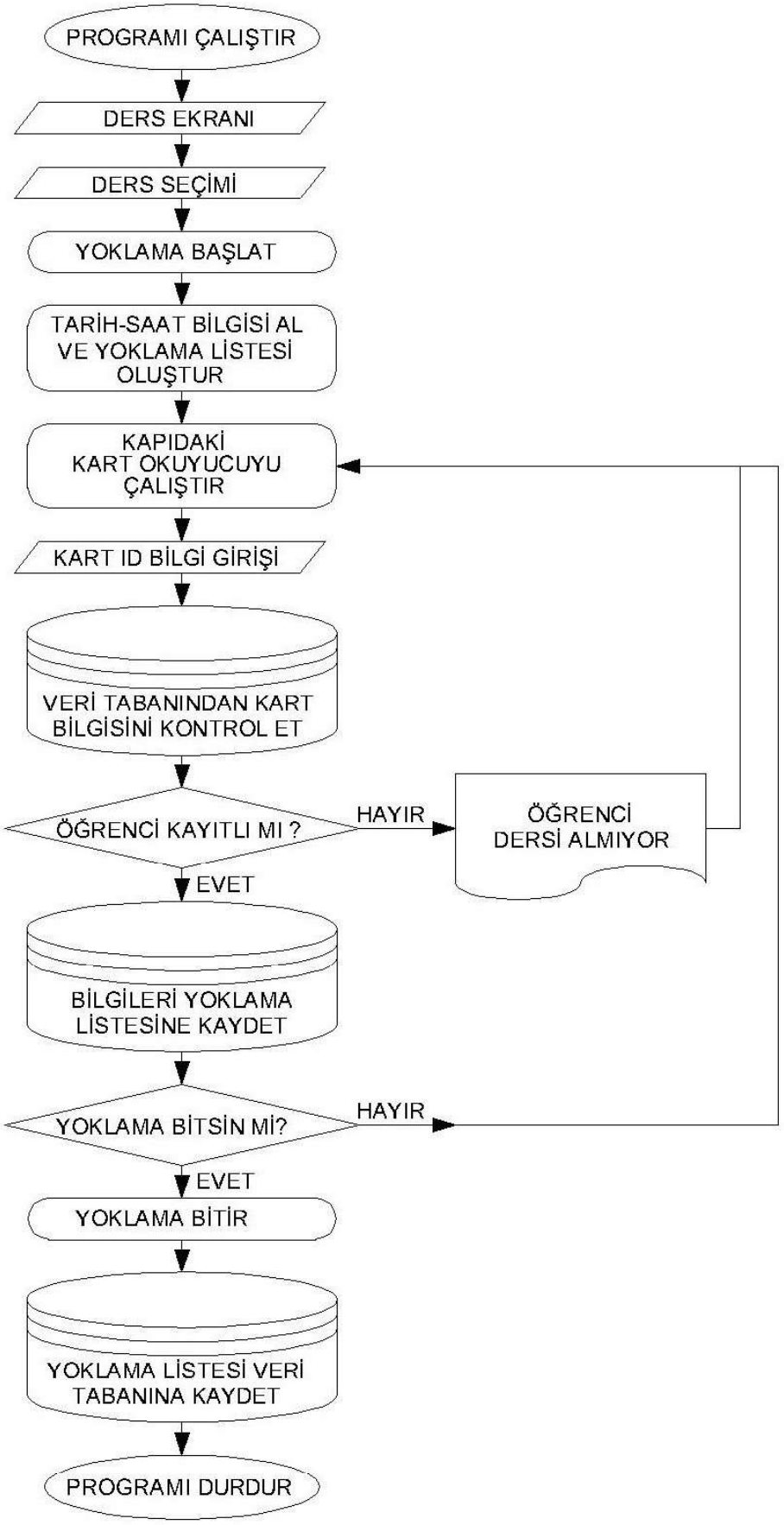
4.3.1. Sistem için izlenen algoritma

Laboratuvar takibi ve izlemesini gerçekleştiren program çok yönlü bir algoritma ile oluşturulmuş olup sistemin donanımı ve veri tabanı ile uyum ile çalışmaktadır. Şekil 4.34'te laboratuvar takip otomasyon sisteminin ana ekran ara yüzü görülmektedir. Ana ekran üst sekmesinde yer alan menü bileşenleri ile sistem görevini yerine getirmesi sağlanmaktadır. Üst sekmede yer alan "ders ekranı", "Yoklama arşivi", "Uygulama arşivi", "Laboratuvar düzeni", "Öğrenci kayıt" bölümlerine ait çalışma algoritmaları aşağıda verilmiş ve detaylı bir biçimde açıklanmıştır.



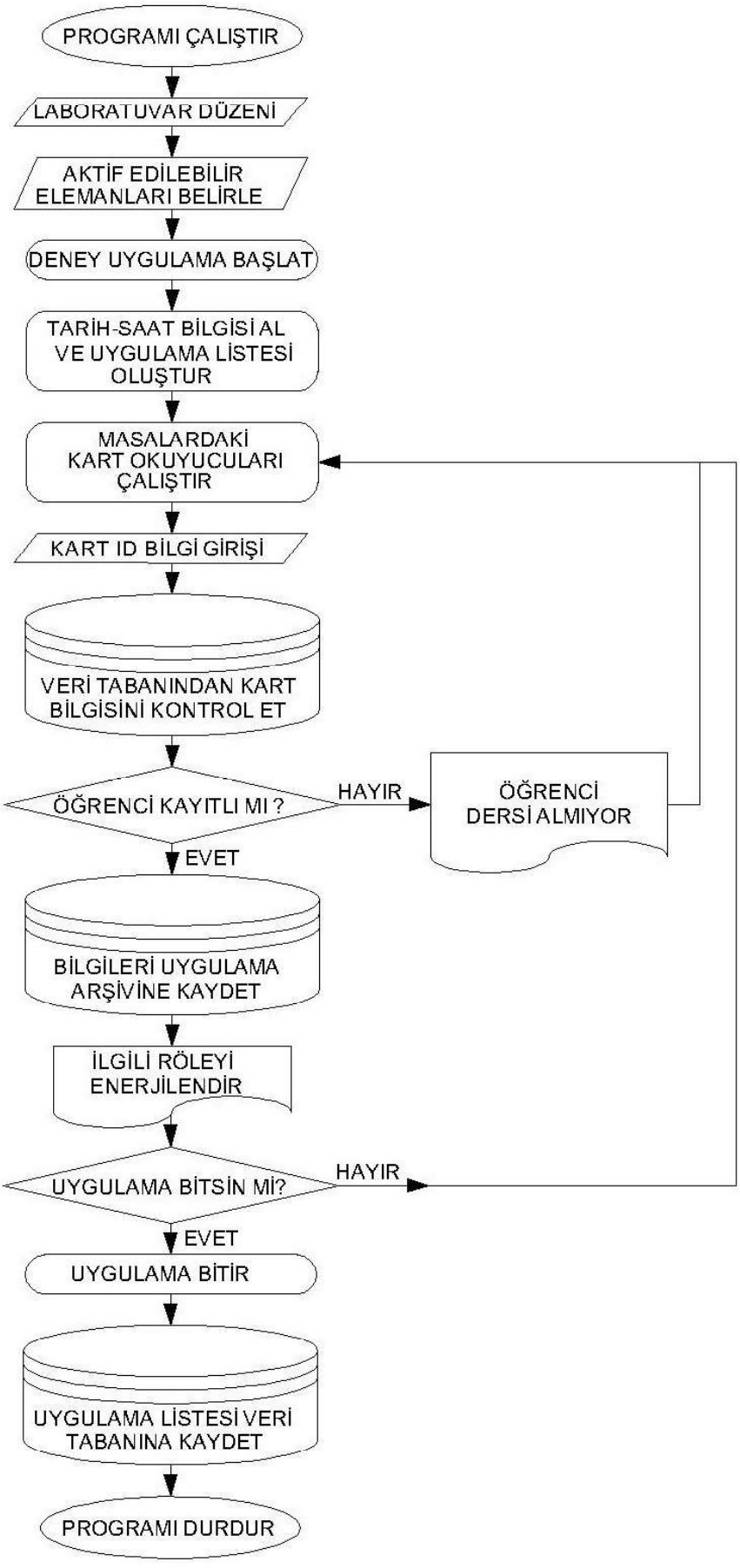
Şekil 4.34. Laboratuvar otomasyonu ana ekranı

Sistem, laboratuvarı kullanan yönetici ve öğrenci için farklı algoritmaları takip etmektedir. Laboratuvar yöneticisi yapmak istediği çalışmaya göre, bu çalışma kapsamında hazırlanmış olan program üzerinden bir ders seçmesi ile laboratuvar kapısına montajı yapılan RFID kart okuyucu enerjilenir. Yöneticinin bu işlemi yapması, ders yoklamasını başlatmaktadır. Veri tabanına daha önceden kayıtlı tüm öğrenciler kapı girişinde giriş saati ile birlikte yoklamaya dahil olur. Yöneticinin seçtiği ders kapsamında program tarafından hazırlanan yoklama listesi veri tabanına otomatik olarak kaydedilmektedir. Sadece bu süreci gösterir algoritma şekil 4.35'de gösterilmiştir.



Şekil 4.35. Ders ekranı algoritmik gösterimi

Bu çalışma kapsamında hazırlanan sistem, yukarıda bahsedilen ve şekil 4.35'de gösterilen yoklama takibi dışında, öğrencilere yönelik deney setlerinin de takibini yapmaktadır. Kapıda bulunan kart okuyucu ile yoklamaya dahil olan öğrenci, masalarda bulunan kart okuyucular ile deney setlerinin enerjilenmesini sağlayabilmektedir. Ancak deney setlerinin kontrolü ve enerjilenmesi için öncelik yönetici bilgisayardan verilen yetki ile sağlanmaktadır. Öğrenci masada bulunan kartokuyucuya öğrenci kimlik kartını okutması ile, sistem veri tabanından öğrencinin aldığı dersleri kontrol etmektedir. Öğrencinin almadığı bir derse dair deney setinin enerjilenmesi yönetici izin vermediği sürece mümkün olmamaktadır. Öğrencinin deney seti ile çalışma süresinin kaydı, yoklama listesi haricinde bir liste ile ayrıca veri tabanına arşivlenmektedir. Bu süreci ve hazırlanan programı daha açıklar şekilde ifade eden algoritma şekil 4.36'de görülmektedir.



Şekil 4.36. Laboratuvar düzeni algoritmik gösterimi

Şekil 4.35 ve şekil 4.36'de görülen algoritmalar sistem işleyişine dair bilgi vermektedir. Bu algoritmalar haricinde sistem, yönetici için veri tabanında arşivlenen geçmiş tarihli dökümanlara da erişim sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında hazırlanan programın ilgili sekmeleri ile geçmiş tarihli verilere, veri tabanından ulaşımı sağlayan algoritmalar şekil 4.37 ve şekil 4.38'te görülmektedir.



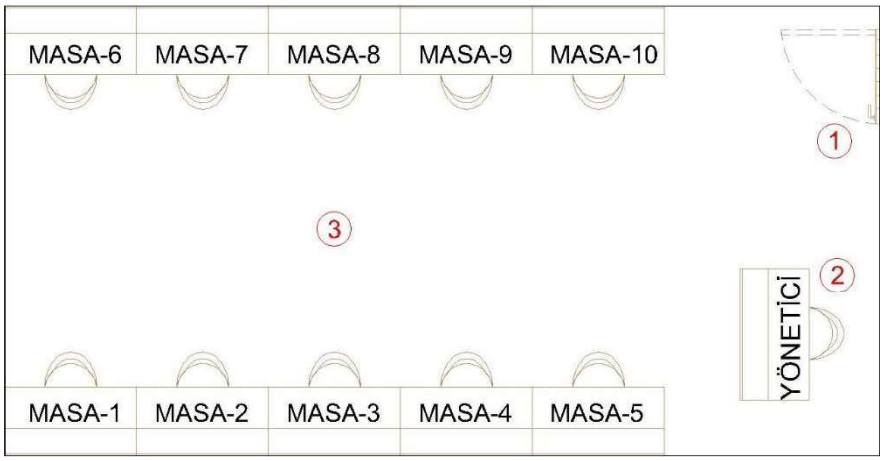
Şekil 4.37. Yoklama arşivi erişim algoritması



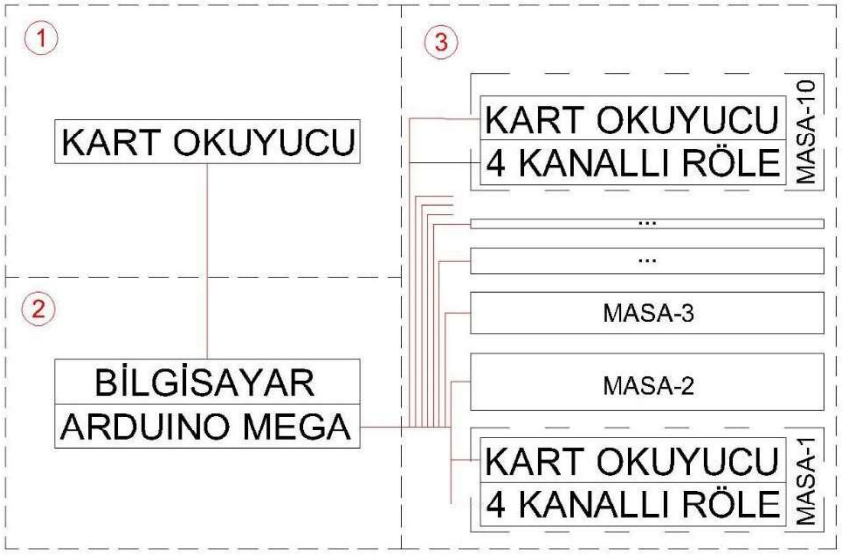
Şekil 4.38. Uygulama arşivi erişim algoritması (Öğrenci-masa-cihaz takip)

4.3.2. Sistemin donanımsal alt yapısı

Sistem donanımını, laboratuvar içerisinde bulunduğu konuma göre gruplandırılacak olursa, üç bölümde incelenmesi gerekmektedir. Şekil 4.39 ve şekil 4.40'de görüldüğü üzere, bir numaralı bölümde laboratuvar kapısında öğrenci kimlik kartları ile uyumlu, 13,56 MHz frekans ile haberleşen bir RFID kart okuyucu bulunmaktadır. Bu kart okuyucu ile sınıf yoklaması her öğrenci için kapıda öğrenci kimlik kartları ile alınmaktadır. Yine şekil 4.39 ve şekil 4.40'da iki numaralı kısımda sistem yazılımının yüklenmiş olduğu ve veri tabanının bulunduğu yönetici bilgisayar ve üç numaralı kısmın kontrolünü sağlayan arduino mikrodenetleyici kartı bulunmaktadır. İki numaralı kısım deney setlerinin bulunduğu masalar için geliştirilen, masaların her birinde bulunan RFID kart okuyucu ve röle takımlarıdır.



Şekil 4.39. Sistem donanımını oluşturan 3 ana bölümün konumları

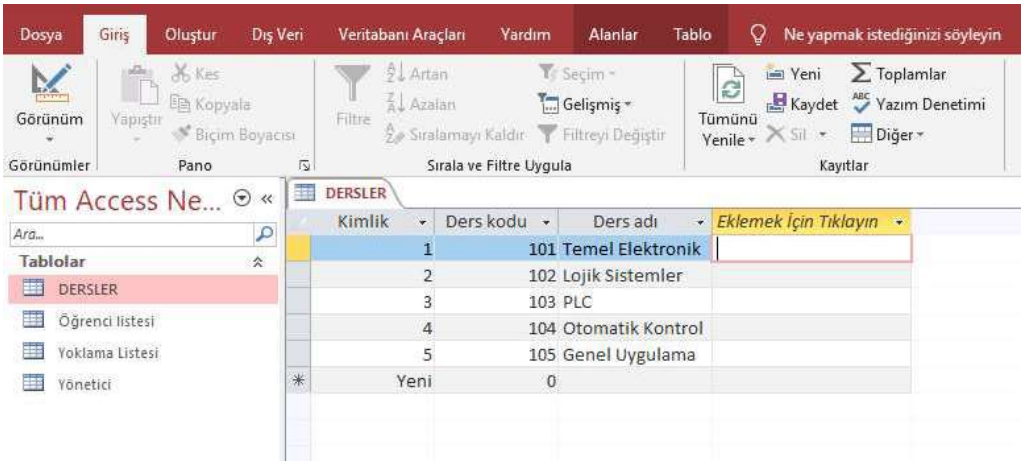


Şekil 4.40. Sistem donanımını oluşturan yapıların bağlantısı

4.3.3. Sistemin kullandığı veri tabanı

Sistem için veri tabanı olarak Microsoft Access'ten faydalanılmıştır. Laboratuvarı kullanacak olan öğrencilerin aldığı dersler ve öğrenci kimlik kartlarına dair bilgiler bu veri tabanına arşivlenmektedir. Ayrıca veri tabanına öğrenci bilgileri haricinde laboratuvarda uygulama yapılabilecek dersler de eklenip değiştirilebilmektedir.

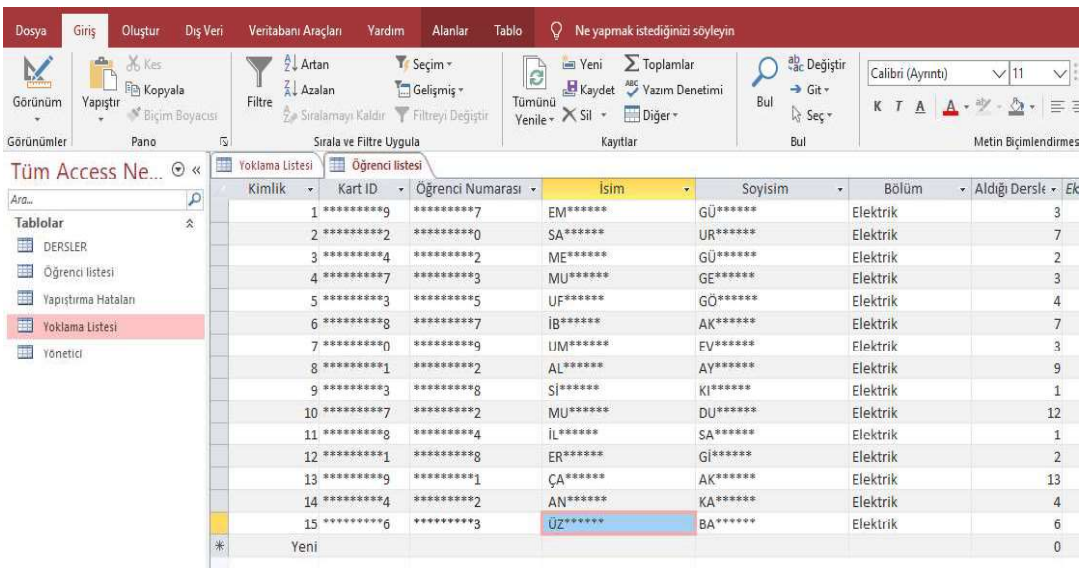
Dönem boyunca laboratuvarda işlenecek derslerin yoklama kayıtları ve deney yapan öğrencilerin bilgileri de hazırlanan program ile bu veri tabanına kaydedilmektedir. Şekil 4.41'de laboratuvar dersleri ve dersler haricinde öğrencilerin çalışma yapacağı saatler için hazırlanmış örnek ders listesi görülmektedir.



Şekil 4.41. Veri tabanında kayıtlı laboratuvar dersleri

Şekil 4.42'de öğrenci listesi görülmektedir, hazırlanan program ile dönem başında öğrenci veri tabanına eklenmektedir. Veri tabanı içerisinde öğrenci numarası, isim, soy isim, bölümü ve aldığı dersler kayıt altına alınmaktadır. Okula başlayan öğrencinin kaydının bir kere alınması, öğrenci okulu bitirinceye kadar arşivlenmesi için yeterli olacaktır. Öğrenci kimlik kartını kaybederse, yeni kimlik kartı ile sistemden küçük bir revizyon ile yeni kart sisteme adapte edilebilecektir.

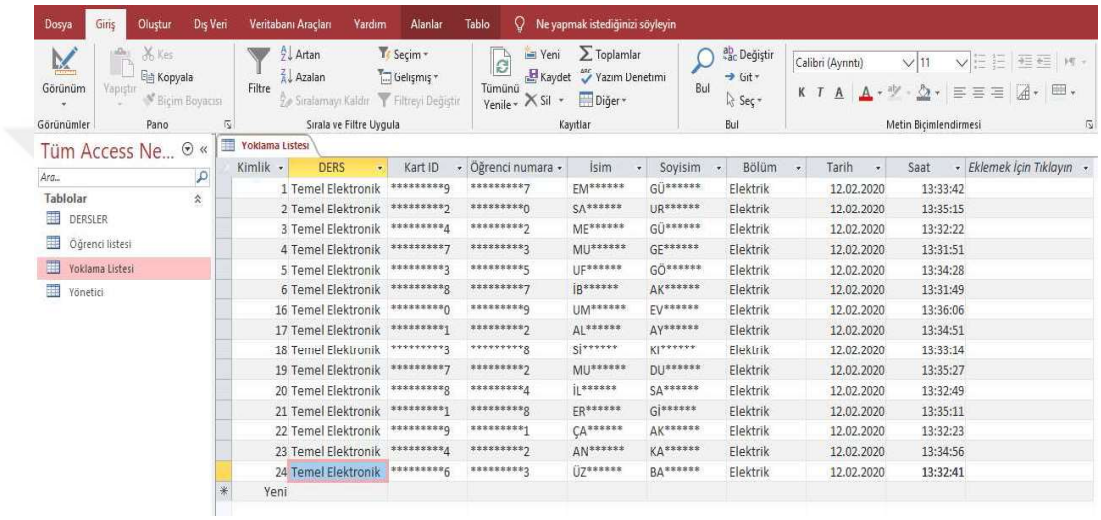
Veri tabanında öğrenci kaydı ile birlikte aldığı dersler de tutulmaktadır. Laboratuvar uygulaması yapılabilecek 4 ders öngörülmüştür, bu nedenle sadece bu dersler için 0 ile 16 sayıları arasında binary kodlama mantığı ile dersler kodlanmıştır. Ders kodlarına ait detaylara program ile ilgili kısımda detaylı değinilecektir.



Şekil 4.42. Veri tabanında kayıtlı öğrenci listesi

Laboratuvarda işlenen her ders ve derse katılan öğrencinin bilgisi veri tabanına yoklama listesi olarak kaydedilmektedir. Kaydedilen yoklama listesi dersin işlendiği tarihi ve öğrencilerin her birinin derse giriş saatini kayıtlı bulundurmaktadır.

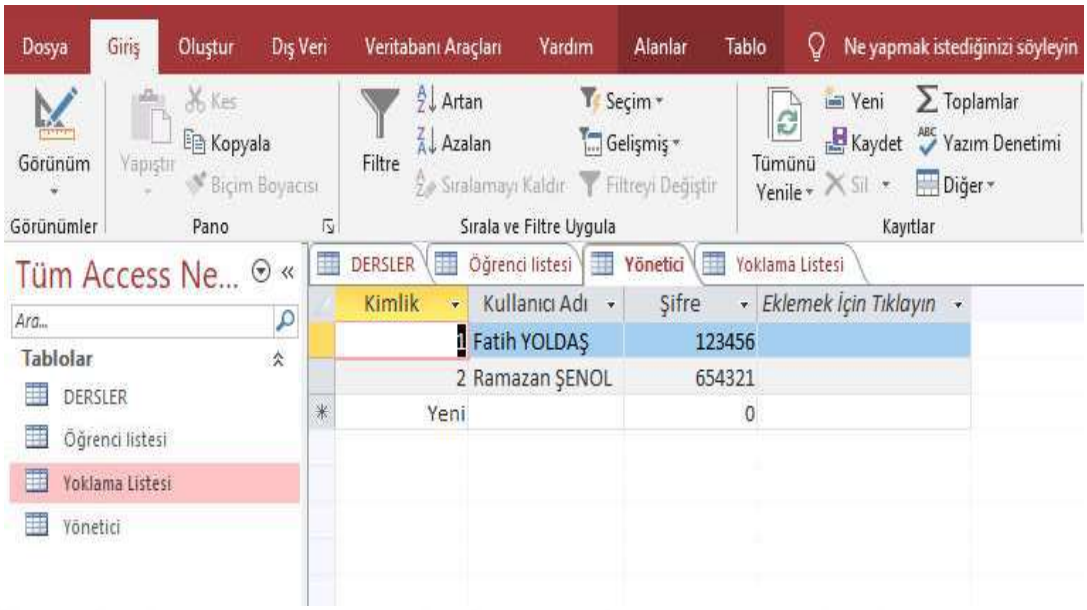
Program kısmından bu arşive erişim sağlanmakta ve geçmiş tarihli yoklama verileri görülebilmektedir. Şekil 4.43'te veri tabanına kaydedilmiş, geçmiş tarihli bir yoklama listesi görülmektedir.



Kimlik	DERS	Kart ID	Öğrenci numara	İsim	Soyisim	Bölüm	Tarih	Saat	Eklemek İçin Tıklayın
1	Temel Elektronik	*********9	*********7	EM******	GÜ******	Elektrik	12.02.2020	13:33:42	
2	Temel Elektronik	*********2	*********0	SA******	UR******	Elektrik	12.02.2020	13:35:15	
3	Temel Elektronik	*********4	*********2	ME******	GÜ******	Elektrik	12.02.2020	13:32:22	
4	Temel Elektronik	*********7	*********3	MU******	GE******	Elektrik	12.02.2020	13:31:51	
5	Temel Elektronik	*********3	*********5	UF******	GÖ******	Elektrik	12.02.2020	13:34:28	
6	Temel Elektronik	*********8	*********7	İB******	AK******	Elektrik	12.02.2020	13:31:49	
16	Temel Elektronik	*********0	*********9	UM******	EV******	Elektrik	12.02.2020	13:36:06	
17	Temel Elektronik	*********1	*********2	AL******	AY******	Elektrik	12.02.2020	13:34:51	
18	Temel Elektronik	*********3	*********8	Sİ******	KI******	Elektrik	12.02.2020	13:33:14	
19	Temel Elektronik	*********7	*********2	MU******	DU******	Elektrik	12.02.2020	13:35:27	
20	Temel Elektronik	*********8	*********4	İL******	SA******	Elektrik	12.02.2020	13:32:49	
21	Temel Elektronik	*********1	*********8	ER******	Gİ******	Elektrik	12.02.2020	13:35:11	
22	Temel Elektronik	*********9	*********1	ÇA******	AK******	Elektrik	12.02.2020	13:32:23	
23	Temel Elektronik	*********4	*********2	AN******	KA******	Elektrik	12.02.2020	13:34:56	
24	Temel Elektronik	*********6	*********3	ÜZ******	BA******	Elektrik	12.02.2020	13:32:41	
Yeni									

Şekil 4.43. Veri tabanına kaydedilen yoklama listeleri

Laboratuvar otomasyon sisteminin kullanımı ve işletmesi tek bir akademisyen tarafından sağlanmayacak, farklı ders ve laboratuvar uygulamalarının farklı akademisyenler tarafından yönetileceği öngörüldüğü için, sistem girişi için farklı kullanıcı adları ve şifreler belirlenebilmektedir. Sistem veri tabanı yoklama listeleri ve kullanım geçmişini arşivlediği için bir güvenlik önlemi alınma gereği duyulmuştur. Bu nedenle oluşturulmuş kullanıcı hesaplarına dair şifrelerin bulunduğu bölüm şekil 4.44'te gösterilmektedir.

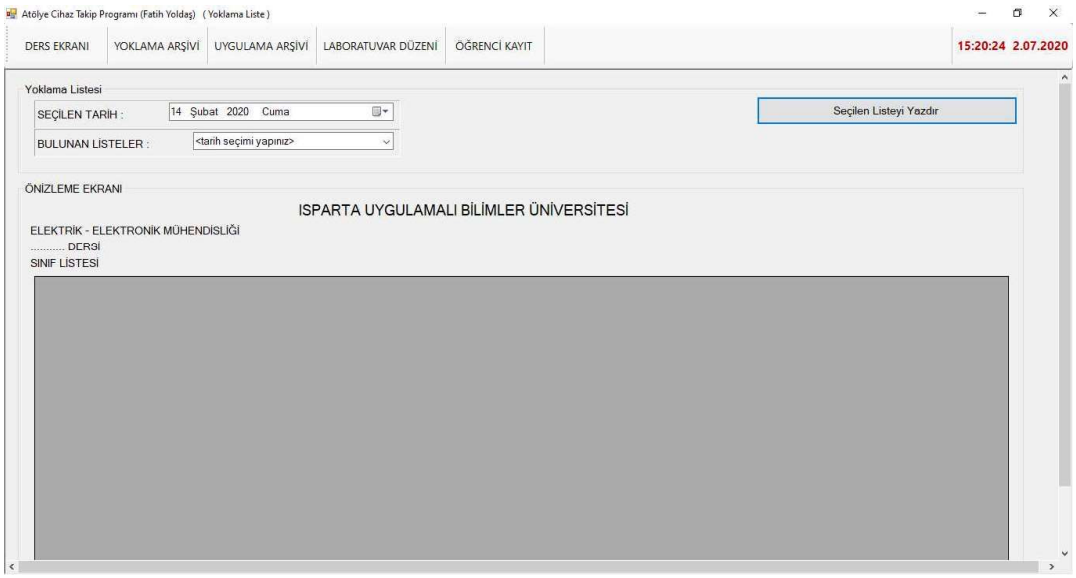


Şekil 4.44. Veri tabanına kayıtlı laboratuvar yöneticileri, kullanıcı adı ve şifreler

4.3.4. Sistemin yazılımı ve işleyişi

Laboratuvar otomasyonu için tasarlanan program 5 ana menüden oluşmaktadır. Ekran görüntüsünün verilmiş olduğu şekil 4.34'da 5 ana menü görülmektedir. Bu menüler sırasıyla; Ders Ekranı, yoklama arşivi, uygulama arşivi, laboratuvar düzeni, öğrenci kayıt menüleridir.

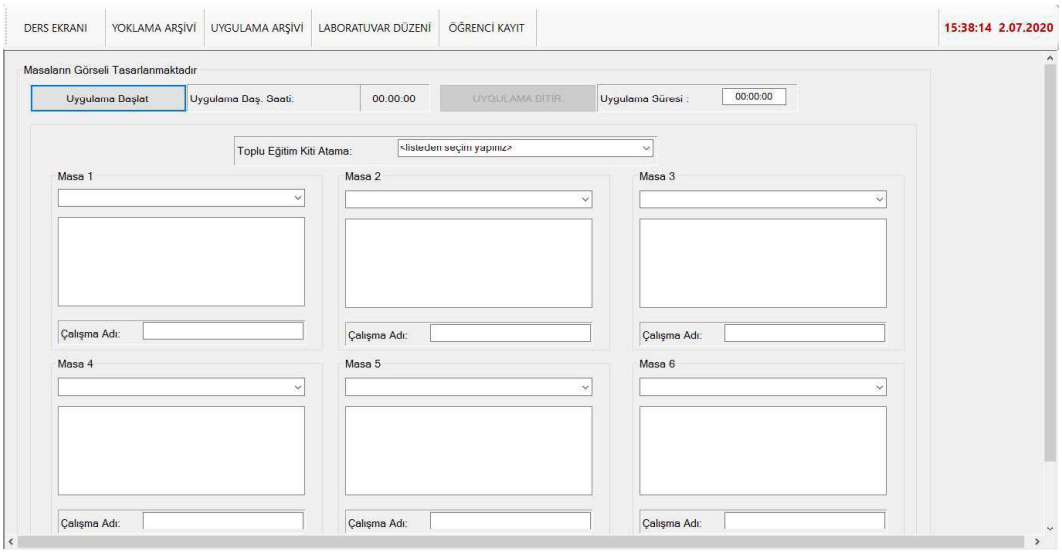
Şekil 4.45'da ders ekranı menüsü görülmekte olup, laboratuvar uygulama dersi süresince öğrencilerin ders yoklamaları anlık olarak bu menüde listelenmektedir. Ders yöneticisi yoklamayı başlatmak için bir ders seçip "yoklama başlat" butonuna basarak yoklamayı başlatabilmektedir. Bu süreç aynı zamanda tarih ve saat bilgilerini de otomatik olarak kaydederek arşive tüm öğrencilerin derse giriş zamanlarını da ileri tarihlerde inceleyebilmeyi sağlamaktadır.



Şekil 4.45. Yoklama arşivi görünümü

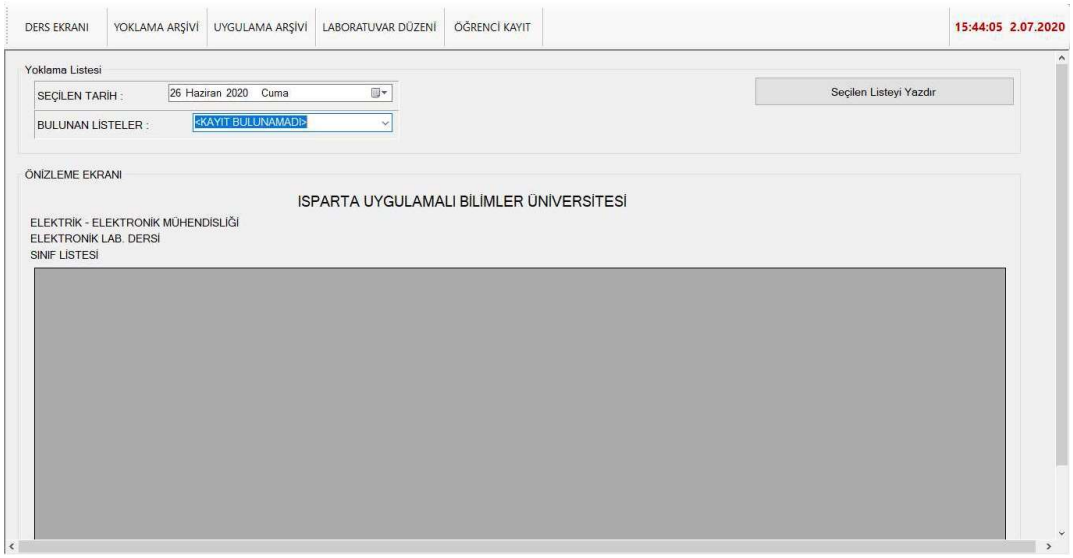
Geçmiş tarihli yoklama listeleri incelenmek istendiğinde, bu çalışma kapsamında hazırlanan programın ana menüsünden yoklama arşivi bölümü seçilmektedir. Yoklama arşivi menüsünde tarih ve dersler seçilerek veri tabanından istenen dersin yoklama listesine ulaşılabilmektedir. Ayrıca "seçilen listeyi yazdır" butonu ile de arşivden bir yoklama listesinin çıktısı alınabilmektedir.

Laboratuvar yoklamaları kapıda bulunan kart okuyucu ile alınmakta, ancak laboratuvar deney setlerinin kullanımı her masada bulunan ikinci bir kart okuyucu ile yapılmaktadır. Masada bulunan kart okuyucu, bu çalışma kapsamında hazırlanmış olan programın "laboratuvar düzeni" sekmesinden aktif edilmektedir. Laboratuvar düzeni sekmesinde, öğrencilerin hangi deney setlerini kullanabileceği yönetici tarafından seçilebilmektedir. Bu seçimi ister yönetici yapabilmekte, isterse öğrencinin aldığı derse göre sistemin veri tabanından kontrol ederek yapabilmesini sağlamaktadır. Bu seçimin yapılması ile uygulama başlat butonu, masalardaki kart okuyucuların aktif olmasını sağlamaktadır. Hangi masada hangi öğrencinin çalışma yaptığı da bu sekmedeki ara yüz ile görüntülenerek veri tabanına arşivlenebilmektedir. Bu süreçte yönetici herhangi bir deney setini seçmeden uygulamayı başlatırsa, öğrenci masadaki kart okuyucuya kimlik kartını okutması ile, sistem veri tabanından öğrencinin aldığı dersleri kontrol edip, sadece öğrencinin aldığı dersler ile ilgili deney setlerinin enerjilenmesine izin vermektedir. Şekil 4.46, tasarlanan uygulamanın laboratuvar düzeni sekmesine dair bir ekran görüntüsünü göstermektedir.



Şekil 4.46. Laboratuvar düzeni uygulama görüntüsü

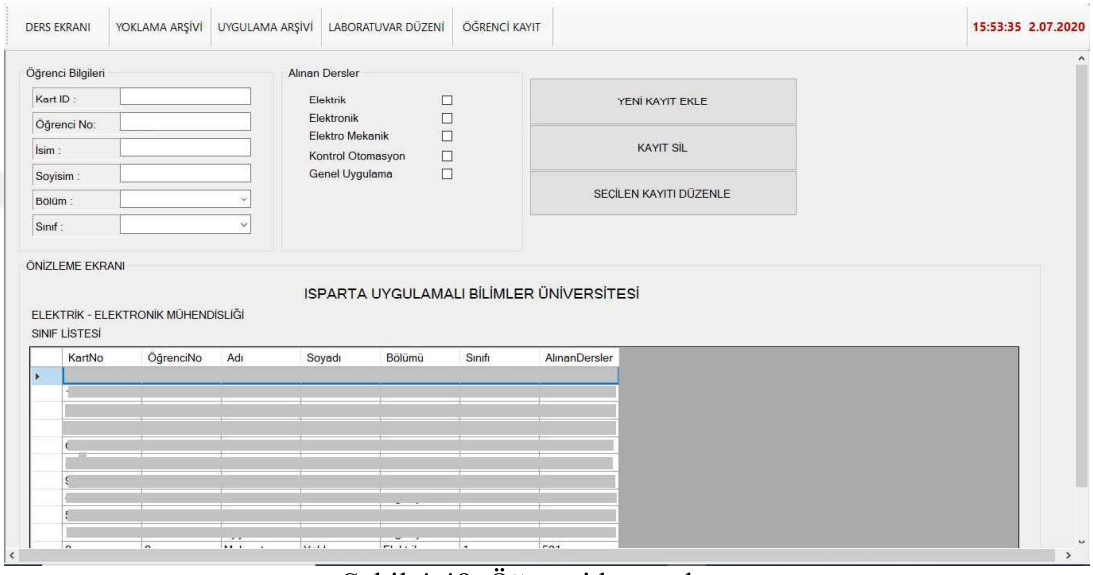
Bu çalışma kapsamında hazırlanan program ile yoklama arşivi veri tabanından incelenebildiği gibi, geçmiş tarihli uygulamalar da veri tabanından çekilebilmektedir. Uygulama arşivi sekmesi ile geçmiş tarihte, hangi derste hangi öğrenci hangi saatler arasında, hangi deney seti ile çalışmış görülebilmektedir. Bu sürecin yönetimi için uygulama arşivi sekmesinden istenilen tarih ve dersin seçilmesi yeterlidir. Ayrıca bu doküman çıktı olarak ta alınabilmektedir. Bu sekmeye dair ekran görüntüsü şekil 4.47'da verilmiştir.



Şekil 4.47. Uygulama Arşivi görünümü

Her yıl yeni öğrencilerin laboratuvarı kullanmaya başlaması ile veri tabanına yeni öğrencilerin bilgileri eklenmesi de gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında hazırlanan

program, üniversite veri tabanı ile uyumlu çalışabilmesi için uygun altyapıya sahiptir. Ancak kişisel verilerin korunması amacı ile, bu program ticari bir ürün haline gelmeden önce veriler öğrencilerin kendisi tarafından girilmesi gerekmektedir. Veri tabanına yeni kayıt yapılacak öğrencinin, kimlik kartını kapıda bulunan kart okuyucuya okutması gerekmektedir. Öğrenci kayıt sekmesinde bulunan boşluklar öğrenci bilgileri ile doldurularak, öğrencinin ve kimlik kartının veri tabanına kaydı gerçekleşmektedir. "Öğrenci kayıt" sekmesi şekil 4.48'de görülmektedir.



Şekil 4.48. Öğrenci kayıt ekranı

4.4. Sistemin Uygulaması ve Test Sürecinin Değerlendirilmesi

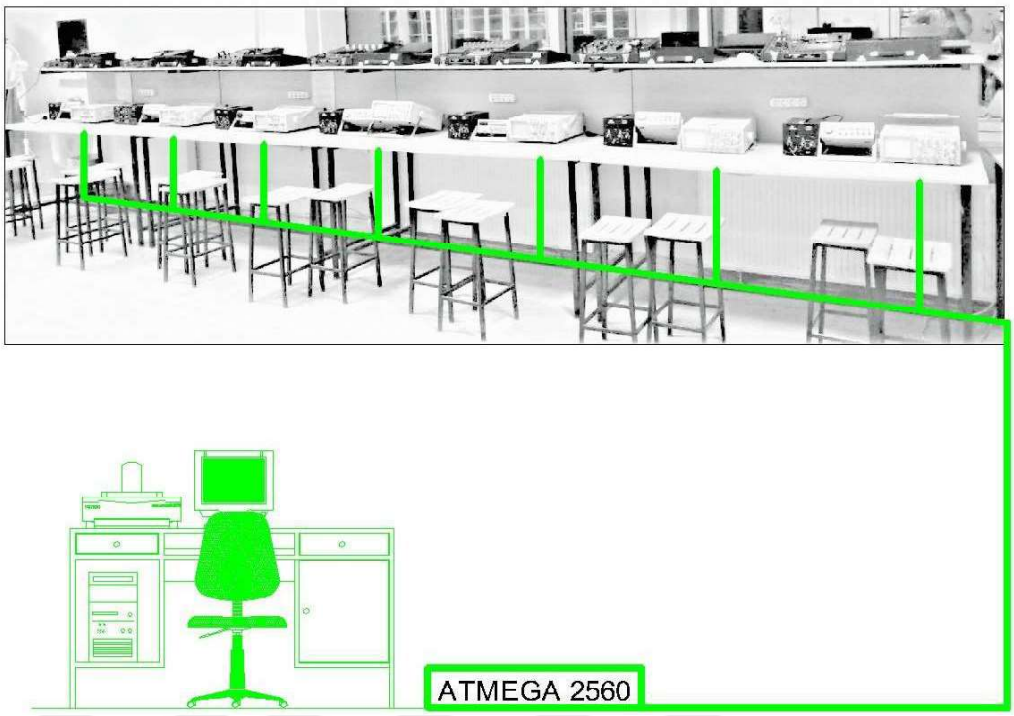
Bu çalışma kapsamında yazılımı ve donanımı hazırlanan laboratuvar otomasyon sisteminin uygulaması Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bucak Emin Gülmez Teknik Bilimler MYO'da elektronik laboratuvarında yapılmıştır. Meslek yüksekokuluna ait laboratuvar görüntüsü şekil 4.49'te görülmektedir.



Şekil 4.49. Emin Gülmez TBMYO Elektronik Laboratuvarı

Bu çalışma kapsamında hazırlanan laboratuvar otomasyon sistemi, tez çalışmasının sadece teoride kalmaması için bir eğitim öğretim dönemi, yani 13 haftalık bir süreçte mevcut MYO öğrencileri ile uygulanmıştır. 13 haftalık deneme sürecinde laboratuvar otomasyon sistemine dair eksikler giderilmiş, hatalar ayıklanmış ve ihtiyaç duyulan özellikler gözlenerek sisteme eklenmiştir. Uygulamalı eğitim ile adapte olan laboratuvar otomasyon sistemi, birçok yönden laboratuvar cihazlarının takibine olanak sağlamış. İnceleme yapılan 13 haftalık süreç cihazların ve öğrencilerin takibine yönelik çalışmalara ışık tutmuştur.

Çalışma kapsamında, elektronik laboratuvarında bulunan 8 masanın kontrolü ve izlenmesi sağlanmış olup, bazı küçük revizyonlar ile daha büyük laboratuvarlar için bu sistem uyumlu hale getirilebilir durumdadır. Şekil 4.50'te 8 masa ve bir yönetici masası için hazırlanan sisteme dair şema görülmektedir.



Şekil 4.50. Laboratuvar otomasyon sistemi genel şeması

Meslek yüksekokulu laboratuvarında gerçekleştirilmiş olan 13 haftalık gözlem sürecinde temel elektronik uygulama dersinde izlenen deney süreci Çizelge 4.1'de verilmiştir. Yüksekokul laboratuvarında bulunan 4 farklı deney ekipmanının her bir deney için farklı bir kullanım kombinasyonuna sahip olduğu görülmektedir. Bu ekipmanlara dair kullanım istatistikleri ve öğrencilerin deneyler için harcadıkları süreler bu çalışma kapsamında arşivlenebilmiştir. Farklı bir laboratuvar için laboratuvar otomasyon sistemi kullanılması durumunda yine farklı laboratuvar ekipmanlarının da enerji kontrolü sağlanabilecek şekilde bir tasarım yapılmıştır. Böylelikle kontrol laboratuvarı, sayısal elektronik laboratuvarı, bilgisayar laboratuvarı, otomasyon laboratuvarı ve güç elektroniği laboratuvarı gibi birçok uygulamalı ders için uyumlu çalışabilir bir sistem geliştirilmiştir.

Çizelge 4.1 Haftalık deney konuları ve kullanılan cihazlar

Hafta	Konu - Deney	Grup	DC Güç kaynağı	Sinyal üreteci	Osiloskop	Ampermetre voltmetre
1.	Elektronik Laboratuvarı ve Cihazları Tanıma	1 ve 2	x	x	x	x
2.	Diyotun Sağlamlık Kontrolü ve Karakteristik Eğrisinin Çıkartılması	1	x			x
3.	Diyotun Sağlamlık Kontrolü ve Karakteristik Eğrisinin Çıkartılması	2	x			x
4.	Doğrultmaç Devreleri	1			x	x
5.	Doğrultmaç Devreleri	2			x	x
6.	Kırpıcı ve Kenetleyici Devreler	1		x	x	
7.	Kırpıcı ve Kenetleyici Devreler	2		x	x	
8.	Zener Diyotlu Gerilim Regüle Devreleri	1	x	x	x	x
9.	Zener Diyotlu Gerilim Regüle Devreleri	2	x	x	x	x
10.	Transistör DC Akım kazancının belirlenmesi, Çalışma Noktasının Tespiti ve Yükselteç Devresi Tasarımı	1	x			x
11.	Transistör DC Akım kazancının belirlenmesi, Çalışma Noktasının Tespiti ve Yükselteç Devresi Tasarımı	2	x			x
12.	Op-Amp Deneyleri	1	x	x	x	x
13.	Op-Amp Deneyleri	2	x	x	x	x

Bu çalışma kapsamında hazırlanan ve meslek yüksekokulu elektronik laboratuvarında 13 haftalık süreçte uygulamalı olarak denenen sistem, öğrencilerin hangi deney için ne kadar süre harcadıklarını gözlemleyebilmeyi ve arşivleyebilmeyi sağlamaktadır. Çizelge 4.2'de elektrik bölümü öğrencileri için temel elektronik dersi bir dönemlik laboratuvar kayıtları gösterilmektedir. Tablo aynı zamanda, öğrencilerin de uygulama dersi için harcadıkları süreleri göstermektedir. Böylelikle temel elektronik uygulama dersi haftalık deney süreleri izlenebilmekte, bu takibe göre hangi deneyin öğrenciler tarafından uzun sürelerde, hangi deneylerin öğrenciler tarafından daha kısa sürelerde yapıldığı gözlemlenebilmiştir. Bu gözlemler bir sonraki ders dönemi uygulanacak deney föyleri için dersi veren akademisyene yol gösterici olacaktır.

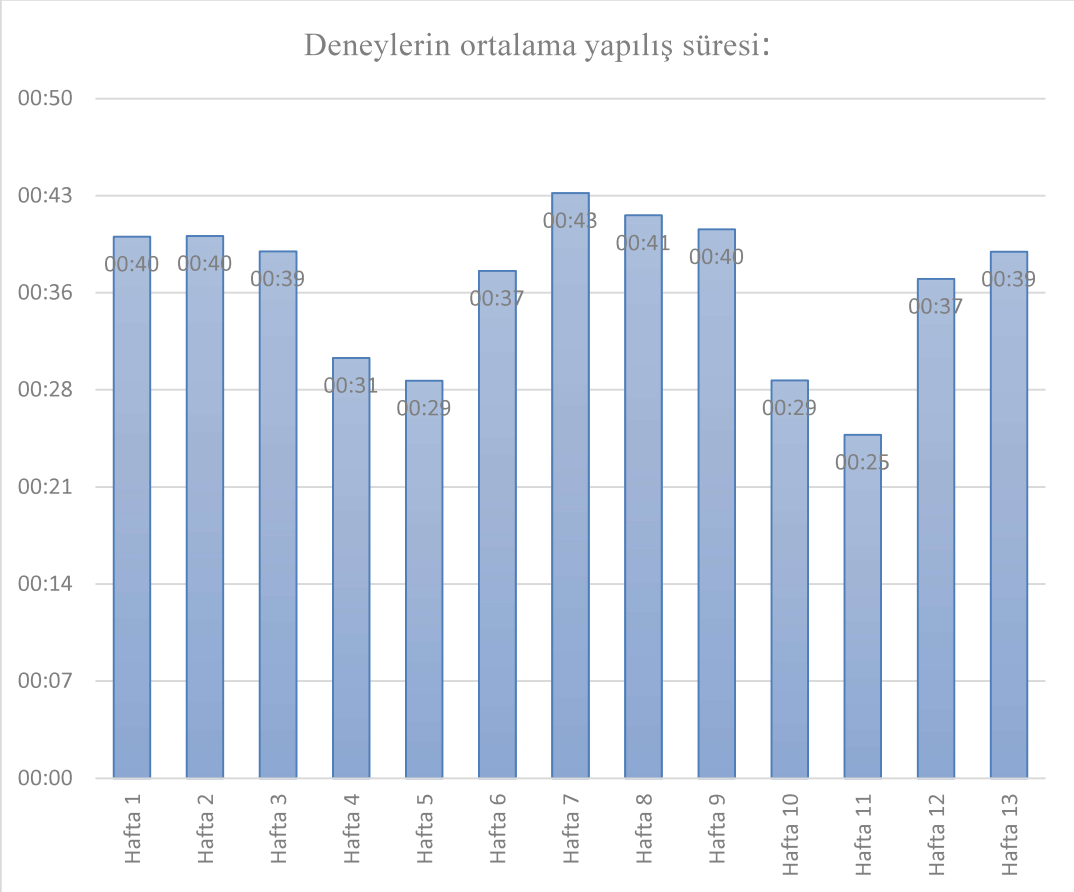
Çizelge 4.2. Öğrencilerin haftalık deney süreleri

	Kart ID	Okul no	İsim Soyisim	Bölüm	Hafta 1	Hafta 2	Hafta 3	Hafta 4	Hafta 5	Hafta 6	Hafta 7	Hafta 8	Hafta 9	Hafta 10	Hafta 11	Hafta 12	Hafta 13
1	*********5	**********7	E***** G*****	Elektrik	00:45	00:51		00:36		00:46		00:55		00:24		00:22	
2	*********8	**********0	S***** U*****	Elektrik	00:42		00:29		00:00		00:58		00:19		00:33		00:29
3	*********2	**********2	M***** G*****	Elektrik	00:44	00:37		00:41		00:32		00:11		00:21		00:43	
4	*********6	**********3	M***** G*****	Elektrik	00:40		00:49		00:25		00:45		00:54		00:31		00:00
5	*********5	**********5	U***** G*****	Elektrik	00:48	00:45		00:28		00:24		00:22		00:35		00:33	
6	*********3	**********7	İ***** A*****	Elektrik	00:44		00:32		00:37		00:32		00:58		00:22		00:29
7	*********0	**********9	U***** E*****	Elektrik	00:45	00:42		00:27		00:38		00:46		00:25		00:55	
8	*********3	**********2	A***** A*****	Elektrik	00:37		00:42		00:55		00:48		00:26		00:00		00:54

Çizelge 4.2. Öğrencilerin haftalık deney süreleri (Devam)

	Kart ID	Okul no	İsim Soyisim	Bölüm	Hafta 1	Hafta 2	Hafta 3	Hafta 4	Hafta 5	Hafta 6	Hafta 7	Hafta 8	Hafta 9	Hafta 10	Hafta 11	Hafta 12	Hafta 13
9	*********7	**********8	S***** K*****	Elektrik	00:41	00:25		00:28		00:45		00:36		00:31		00:29	
10	*********0	**********2	M***** D*****	Elektrik	00:49		00:41		00:47		00:43		00:41		00:37		00:56
11	*********6	**********4	İ***** S*****	Elektrik	00:51	00:44		00:12		00:59		00:58		00:39		00:44	
12	*********5	**********8	E***** G*****	Elektrik	00:33		00:35		00:00		00:54		00:37		00:27		00:44
13	*********7	**********1	Ç***** A*****	Elektrik	00:45	00:25		00:37		00:25		00:44		00:33		00:37	
14	*********1	**********2	A***** K*****	Elektrik	00:32		00:42		00:39		00:21		00:46		00:26		00:58
15	*********5	**********3	Ü***** B*****	Elektrik	00:00	00:49		00:36		00:29		00:57		00:25		00:29	

Laboratuvar otomasyon sistemi, farklı birçok ders için bu gözlemi yapma imkânı sağlamaktadır. Bu gözlem ile, bir sonraki dönem uygulama dersleri daha verimli işlenebilecek ve veri tabanına kaydedilen arşiv sayesinde önceki yıllara dair uygulamalar ile kıyaslama imkânı sunacaktır. Şekil 4.51'da elektrik bölümü öğrencilerinin temel elektronik laboratuvarı dersinde yaptıkları çalışmaların dönemlik grafiği verilmiştir. Bu grafik göstermektedir ki, 4-5 haftalarında yapılan "doğrultmaç devreleri" deneyi ve 10-11 haftalarında yapılan "Transistör DC Akım kazancının belirlenmesi, Çalışma Noktasının Tespiti ve Yükselteç Devresi Tasarımı" deneyleri diğer haftalara göre daha kısa sürmüştür. Bu bilgiler de göstermektedir ki, bir sonraki yıl bu deneyler daha kompleks bir uygulama ile güçlendirilebilir.



Şekil 4.51 Öğrencilerin haftalık ortalama uygulama ve deney süreleri

Laboratuvar otomasyonu veri tabanında arşivlemesi yapılan bir diğer kısım ise, öğrenciler ve öğrencilerin çalıştığı ekipmanların kaydıdır. Öğrencilerin ekipmanlar ile çalışma süreçlerinin kayıt altına alınması, ekipmanın arıza takibi ve denetimini kolaylaştırmaktadır. Temel elektronik laboratuvarı ve elektrik bölümü öğrencileri ile

yapılan bir dönemlik gözlem ve uygulama süreci, ekipmanların arızasız olarak dönemi bitirmesi ile sonuçlanmıştır. Laboratuvar otomasyon sistemi kurulmadan önceki yıllara ait cihaz arızaları ile ilgili kayıt bulunmamaktadır. Ancak önceki yıllardan âtıl vaziyette arızalı ve kaydı tutulmamış osiloskop, güç kaynağı ve sinyal üreteçleri bulunmaktadır. Bu durum da göstermektedir ki, cihaz kullanımının kayıt altına alınması, laboratuvar ekipmanlarının daha titiz kullanımını sağlamaktadır. Çizelge 4.3'da bir dönem boyunca, hangi masada hangi öğrencinin çalışma yaptığı tablo olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Öğrencilerin deney setlerinde çalışma süreleri

	MASA 1	MASA 2	MASA 3	MASA 4	MASA 5	MASA 6	MASA 7	MASA 8
HAFTA 1	*********1	*********5	*********7	*********1	*********9	*********3	*********1	*********7
	00:00:00	00:32:18	00:49:35	00:42:00	00:36:50	00:39:16	00:29:47	00:21:40
HAFTA 1	*********8	*********4	*********6	*********0	*********2	*********2	*********	*********6
	00:46:30	00:25:24	00:46:43	00:29:18	00:58:58	00:19:16	00:11:08	00:10:25
HAFTA 2	*********1	*********5	*********7	*********1	*********9	*********3	*********1	*********7
	00:45:56	00:33:14	00:25:24	00:35:53	00:37:05	00:00:00	00:25:17	
HAFTA 3	*********8	*********4	*********6	*********0	*********2	*********2	*********	*********6
	00:37:57	00:43:04	00:27:23	00:17:26	00:44:16	00:33:31	00:43:36	00:54:57
HAFTA 4	*********1	*********5	*********7	*********1	*********9	*********3	*********1	*********7
	00:51:22	00:49:35	00:44:16	00:41:42	00:12:32	00:47:54	00:59:19	
HAFTA 5	*********8	*********4	*********6	*********0	*********2	*********2	*********	*********6
	00:41:40	00:49:27	00:37:06	00:44:54	00:56:21	00:29:19	00:45:53	00:43:24
HAFTA 6	*********1	*********5	*********7	*********1	*********9	*********3	*********1	*********7
	00:41:05	00:37:13	00:25:24	00:42:27	00:28:11	00:55:24	00:45:13	
HAFTA 7	*********8	*********4	*********6	*********0	*********2	*********2	*********	*********6
	00:26:37	00:51:14	00:00:00	00:29:35	00:54:47	00:51:22	00:56:32	00:48:00
HAFTA 8	*********1	*********5	*********7	*********1	*********9	*********3	*********1	*********7
	00:45:24	00:44:19	00:42:27	00:32:18	00:27:55	00:37:57	00:38:31	
HAFTA 9	*********8	*********4	*********6	*********0	*********2	*********2	*********	*********6
	00:58:58	00:25:47	00:22:06	00:55:46	00:29:42	00:46:30	00:55:46	00:32:18
HAFTA 10	*********1	*********5	*********7	*********1	*********9	*********3	*********1	*********7
	00:48:26	00:40:52	00:45:56	00:49:35	00:48:25	00:25:51	00:24:11	
HAFTA 11	*********8	*********4	*********6	*********0	*********2	*********2	*********	*********6
	00:54:04	00:35:32	00:11:32	00:20:19	00:00:00	00:24:33	00:10:25	00:45:03
HAFTA 12	*********1	*********5	*********7	*********1	*********9	*********3	*********1	*********7
	00:44:16	00:42:27	00:37:13	00:29:35	00:51:49	00:00:00	00:32:08	
HAFTA 13	*********8	*********4	*********6	*********0	*********2	*********2	*********	*********6
	00:44:16	00:42:27	00:37:13	00:29:35	00:51:49	00:00:00	00:32:08	00:58:26

Laboratuvar otomasyon sistemi çalışması kapsamında hazırlanan veri tabanından öğrencilerin ve ekipmanların arşivlenen verileri aynı zamanda cihaz ve ekipman kullanımında ömür takibi yapmayı da sağlamaktadır. Çizelge 4.4. bir dönem boyunca hangi ekipmanın toplam ne kadar süre çalıştığına dair bilgi vermektedir.

Çizelge 4.4. Ekipmanların kullanım süreleri

	Masa 1	Masa 2	Masa 3	Masa 4	Masa 5	Masa 6	Masa 7	Masa 8
Sinyal üreteci	06:28	05:54	07:54	05:45	06:43	05:28	04:50	02:12
Osiloskop	04:36	05:03	06:44	05:19	05:51	04:15	04:41	02:38
Ampermetre voltmetre	05:52	05:40	07:45	06:42	06:57	05:29	05:33	03:35
DC Güç kaynağı	07:44	06:31	08:55	07:08	07:49	06:42	05:54	04:04

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma ile Elektrik, elektronik ve kontrol laboratuvarlarında kullanılmak üzere laboratuvar otomasyon sistemi ve yine kontrol laboratuvarlarında kullanmak amacıyla bir deney seti tasarlanmıştır. Hazırlanmış olan deney seti, ARM mimarisi ile ilgili çalışma yapmak için imkân ve ek donanımlar ile geniş çaplı uygulama alanları sağlamaktadır. STM32F4 mikrodenetleyicinin Matlab/Simulink ile programlanabilmesi bu çalışmanın öne çıkan özelliklerinden biridir.

Kontrol laboratuvarlarında kullanılmak üzere tasarlanan deney seti, Matlab/Simulink ortamı ve STM32F4 mikrodenetleyicisi ile gerçek zamanlı olarak DC motor kontrolü sağlamaktadır. DC motor üreticisi tarafından sağlanan parametreler ile Matlab üzerinden bir benzetim simülasyonu hazırlanmıştır. Bu simülasyon ile gerçek motorun çıkış verileri kıyaslanmış ve birbirine yakın değerler olduğu tespit edilmiştir. Bu değerlerin belirlenmesi ile DC motor PID kontrolü için Simulink programında bir model tasarlanmıştır.

STM32F4 Discovery geliştirme kartının bilgisayarla haberleşmesi için bir uart dönüştürücü, motorun yüksek akımlar ile sürülebilmesi için bir motor sürücü, STM32F4 Discovery geliştirme kartının PWM çıkış sinyalinin motor sürücü ile uyumlu çalışabilmesi için gerilim seviye dönüştürücü bir devre kullanılmıştır. DC motor sürmek için kullanılan bu ek donanımlar ve birbiri ile uyum içerisinde çalışmasını sağlamak, otomatik kontrol sistemleri için en temel konuların kavranması ile mümkündür.

Matlab/Simulink ile STM32F4 mikrodenetleyicisinin uyumlu olarak çalışması, Simulinkte hazırlanan bir programın STM32F4 mikrodenetleyiciye gömülebilmesi için üçüncü bir üretici tarafından hazırlanan ve simulink kütüphanelerine adapte olabilen Waijung kütüphanesi ile sağlanmıştır. Waijung kütüphanesi, simulink üzerinde STM32F4 için rahatlıkla giriş çıkış pinlerini kontrol edebilme imkânı sağlamıştır.

En yaygın ve kullanışlı kontrol yapılarından olan PID denetim yöntemi ile DC motorun sürülmesi sağlanmıştır. PID katsayıları Kp = 31.757, Ki = 167.8123, Kd = 1.5024

olarak en uygun değerler bulunmuştur. Gerçek zamanlı DC Motor hız kontrollerinde PID katsayılarının kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

Simulink üzerinde bulunan katsayılar kullanılarak PI ve PID denetimi ile DC motorun kontrolü sağlanmış ve bu sürece dair sonuçlar karşılaştırılmıştır. PI denetimi ile DC motor kontrolü esnasında kalıcı durum hatası tespit edilmiştir. Ancak integral katsayısı ne kadar artırılırsa artırılsın hatanın düzelmesi yerine maksimum aşma noktasının arttığı görülmüştür. PI denetimi sonrasında sisteme türev katsayısının eklenmesi çıkış değerlerini düzeltmiştir. Bu karşılaştırma göstermiştir ki, dc motorda gerçekleştirilecek gerçek zamanlı motor kontrollerinde PID denetim mekanizmasının PI denetimine göre çok daha başarılı sonuç verdiği tespit edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında ayrıca hazırlanan laboratuvar otomasyon sistemi ile bir elektronik laboratuvarının bir dönemlik ders ve uygulama süreci izlenmiştir. Laboratuvar otomasyon sisteminin yazılım kısmını C#, .Net, Visual Studio oluştururken, donanım kısmı için mikrodenetleyici olarak Atmega 2560 işlemciden faydalanılmıştır. Ayrıca otomasyon sistemi için RFID kart okuyucular ve röleler kullanılmıştır.

Geçmiş yıllardaki yapılan çalışmalar ve literatür araştırması, geliştirilen deney setlerinin kullanım verilerinin kaydı ve takibi konusunda bir ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Geçmiş yıllarda Türkçe ve yabancı kaynaklı yapılan araştırma ve çalışmaları gösterir tablo, çizelge 5.1 ve çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Deney setlerinin geliştirilmesi için yapılan türkçe çalışmalar

Araştırmacı	Yıl	Çalışma
İ. Garip	2008	Alternatörlerin Otomatik Paralel Bağlanması için Eğitim Amaçlı Bir Deney Setinın Geliştirilmesi ve Etkililiğinin Değerlendirilmesi
M. Özbek	2014	Temel Haberleşme Laboratuvarı İçin Bilgisayar Destekli Modülasyon Demodülasyon Deney Seti
İ. Arıcı	2014	Labview Tabanlı Bir Elektronik Deney Seti Geliştirilmesi
Günaydın	2014	Uzaktan Erişimli Web Tabanlı Mikrodenetleyici Deney Seti Tasarımı Ve Gerçekleştirilmesi
Şimşek	2015	Arduino Kart ile Tasarlanmış Sistemlerin İnternet Tabanlı Kontrolü ve İzlenmesi

Irmak ve Calpbinici	2017	E-Laboratuvarlar İçin Yeni Bir Tasarım: Eş Zamanlı Erişilebilen Deneysel Uygulama Platformu
Sarıkaş ve Yayla	2017	Uzaktan Erişimli Mikrodenetleyici Laboratuvarı
R. Gülcan	2019	Uzaktan Kontrollü Arm Tabanlı Mikrodenetleyici Deney Seti Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi

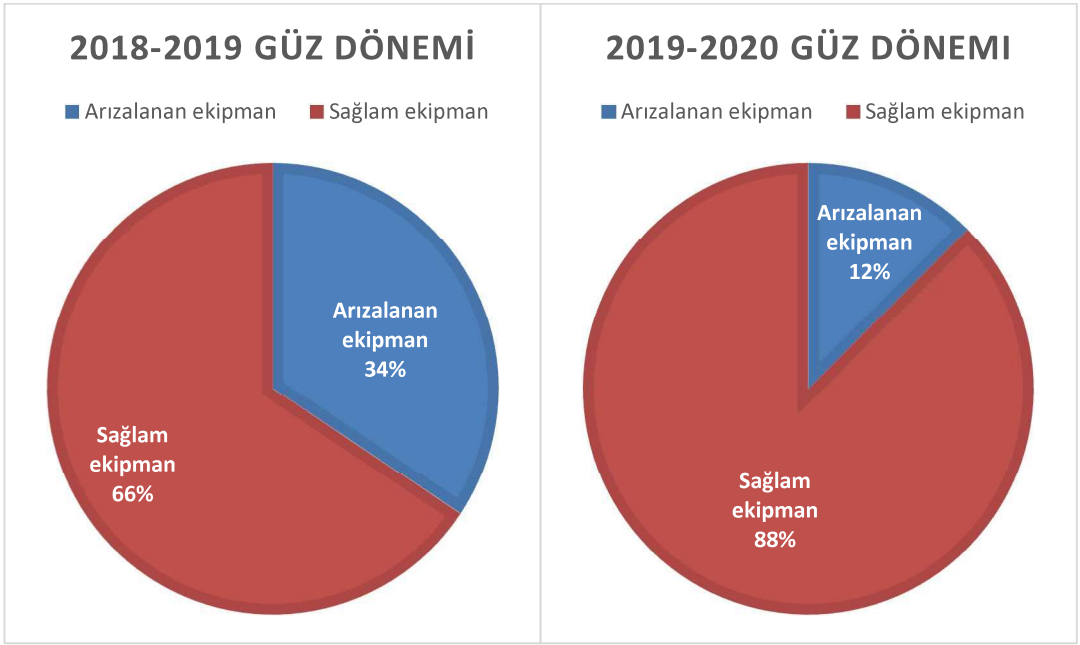
Çizelge 5.2. Deney setlerinin geliştirilmesi için yapılan yabancı çalışmalar

Araştırmacı	**Yıl**	**Çalışma**
Jamieson	2011	Arduino For Teaching Embedded Systems. Are Computer Scientists And Engineering Educators Missing The Boat
Shim ve diğ.	2014	A Study on Training Courses Development and Analysis for Improving the Creativity Using Arduino
Barrera	2014	Teaching Introduction to Robotics: Using a Blend of Problem and Project-Based Learning Approaches
S. I. Shaikh	2015	Two Axis Direction Finding Antenna System Using Difference – Sum Patterns In X-Band
Medin ve Petric	2015	Embedded Lab: Arduino Projects in Science Lessons
Alexander ve Radhakrishnan	2015	Remote Lab Implementation on an Embedded Web Server
Bermudez-Ortega vd.	2015	Remote Web-Based Control Laboratory For Mobile Devices Based On Ejss
Soriano ve diğ.	2015	Low Cost Platform for Automatic Control Education Based on Open Hardware
Herger ve Bodarky	2015	Engaging Students With Open Source Technologies And Arduino
Merino ve diğ.	2016	Robotic Educational Tool to Engage Students on Engineering
Arakliotis ve diğ.	2016	Rule-Based Arduino Programming System for Young Students
El-Abd	2017	A Review of Embedded Systems Education in the Arduino Age: Lessons Learned and Future Directions

Laboratuvar otomasyon sisteminin bir dönemlik takibi ile, öğrencilere ait yoklama verileri, öğrencilere ait deney seti ve laboratuvar ekipmanları kullanım verileri, laboratuvar ekipmanlarının kullanım sürelerine dair veriler veri tabanına kaydedilmiştir.

Tüm bu verilerin veri tabanına kayıt edilmesi ile; öğrencilerin yoklama takibi dijital ortamda gerçekleştirilebilmiştir. Laboratuvar cihazlarının kullanım süreleri takip altına alınmış ve bu veriler, takip edilen deney föylerinin geliştirilmesi adına katkıda bulunmuştur. Öğrencilerin deneyleri yaparken kullandığı ekipmanların kayıt altına alınıyor olması, cihazların daha özenli kullanımını sağlamış ve arızalı âtıl vaziyette durabilecek laboratuvar ekipmanlarının önüne geçilmiştir.

14 Hafta süresince 4 farklı laboratuvar cihazında kısa devre akımlarına bağlı arızalar oluşmuş, bu arızaların giderilmesi, yine arıza oluşumuna neden olan öğrenciler tarafından sağlanmıştır. Böylelikle, bu çalışma uygulanmadan önce kayıt altına alınmış olan 14 haftalık süreçteki 11 ekipman arızası 4 arızaya düşürülmüş bulunmaktadır. 2018-2019 Güz döneminde Temel elektronik uygulama dersi için envanterde bulunan 32 adet olan laboratuvar ekipmanı içerisinden 11 adedin arızalanması %34 oranında bir arızaya tekabül etmektedir. Bu çalışma kapsamında geliştirilmiş olan laboratuvar otomasyon sisteminin uygulamaya geçmesi ile ayını dersin 2019-2020 güz dönemi için 32 ekipman içerisinden 4 tanesinin arızalanması, bu oranı %12'ye düşürmektedir. Bir dönemlik arıza oranının %34'den %12'ye düşmesi %22'lik bir avantaj olarak tespit edilmiştir. Ayrıca ekipmanlardaki arızaların aynı süreçte giderilmiş olması, bu tez çalışmasının olumlu sonuç verdiğinin göstergesidir. Şekil 5.1, ekipmanların arızalanma oranlarını daha açık göstermektedir.



Şekil 5.1. Laboratuvar ekipmanlarının arızalanma oranları

KAYNAKLAR

Akdeniz H. Y. (2019), *Arduino Tabanlı Mppt Solar Şarj Kontrolörü Tasarımı ve Uygulaması.* (Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

Aktan, B., Bohus, C.A., Crowl, L.A. & Shor, M.H. (1996). Distance learning appiled to control engineering laboratories. *IEEE Transactions On Industrial Electronics, 39 (3): 320-326.*

Akkaya A. (2019), *Yüz, Parmak İzi, Rfıd Ve Karekodlu Entegre Geçiş Kontrol Sistemi Tasarım Ve Uygulaması* (Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)

Alexander, P.J. & Radhakrishnan, N. (2015). *Remote Lab Implementation on an Embedded Web Server*. International Conference on Circuit, Power and Computing Technology. March 19-20, Nagercoil, India.

Anonim (2019a). *ST Microelectronics*. https://www.st.com/content/st_com/en.html (Son erişim tarihi: 22.11.2019)

Anonim (2019b). .*Net Framework.* http://msdn.microsoft.com/tr-tr/library/hh425099(v=vs.110).aspx (Son erişim tarihi: 02.12.2019)

Anonim (2019c). .*Maxim Integrated.* https://www.maximintegrated.com/en/site-search.html#q=ds1307&sort=relevancy (Son erişim tarihi: 02.12.2019)

Anonim (2019d). *Make Block DC Motors.* https://www.makeblock.com/project/dc-motor-25-6v (Son erişim tarihi: 02.12.2019)

Anonim (2020a). *ST Microelectronics*. http://www.st.com/web/catalog/tools/FM147/CL1794/SC961/SS1533/PF258513?sc=stm32-mat-target (Son erişim tarihi: 02.05.2020)

Anonim (2020b). *Waijung Blockset*. http://waijung.aimagin.com/ (Son erişim tarihi: 03.05.2020)

Anli G. (2019), *Ct Ve Mrı Görüntülerinden Matlab Ortamında Vücut Uzuvlarının Üç Boyutlu Modellerinin Elde Edilmesi Ve Örnek Uygulama* (Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü)

Arıcı İ. (2014), *Labvıew Tabanlı Bir Elektronik Deney Seti Geliştirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)

Arakliotis, S., Nikolos, D. G., Kalligeros, E. & Lawris, A. (2016). *Rule-Based Arduino Programming System for Young Students*. 5th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies. May 12-14, Thessaloniki, Greece.

Baydar R. (2018), *Bir Gaz Türbini Enerji Analizinin Matlab/ Simulink ile Modellenmesi* (Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)

Başaran B. (2018), *Arduino'nun Elektrik Deneylerine Entegre Edilmesinin ve Deney Raporlarının Poster Şeklinde Hazırlanmasının, Fen Bilgisi Öğretmen Adaylarının Fizik Laboratuvarlarına, Teknolojiye ve Bilgi ve İletişim Teknolojilerine Yönelik Tutumlarına Etkisinin İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)

Batan E. (2015), *Matlab Simulink Ortamında Kullanılabilen Arduino Temelli Kontrol Deney Seti Tasarımı* (Yüksek Lisans Tezi, Tarsus Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü)

Barrera, A. H. (2014). *Teaching Introduction to Robotics: Using a Blend of Problem and Project-Based Learning Approaches*. IEEE. March 13-16, Southeastcon, Lexington, USA.

Bermudez-Ortega, J., Besada-Portas, E., Lopez-Orozco, J.A. & De La Cruz, J.M. (2015). Remote web-based control laboratory for mobile devices based on EJsS, raspberry pi and node.js. *IFAC-PapersOnLine*, *48*, 158–163.

Chang, C. C. & Lo, Y. C. (2006). Broadband RFID tag antenna with capacitively coupled structure. *Electron Lett.*, vol. 42, pp. 1322-1323.

Curtin, J., Kauffman, R. J. & Riggins, F. J. (2007). Making the ''MOST'' out of RFID Technology: A Research Agenda for the Study of the Adoption, Usage, and Impact of RFID, *Information Technology and Management,* 8 (2), pp. 87-110

Çakar M. (2016), *Lokal Geoit Üzerine C Sharp Programlama Dilinde Uygulama* (Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)

Çepni S., Özmen H., Kuramdan Uygulamaya Fen ve Teknoloji Öğretimi, 10. Baskı, Pegem Akademi Yayıncılık, Ankara, 2010.

Çiftçi, S. (2011). *Matlab (İkinci Baskı)*. Kodlab Yayıncılık (İstanbul).

Dökmetaş, G. (2016). *Arduino Eğitim Kitabı*. Dikeyeksen Yayıncılık.

El-Abd, M. (2017). A Review of Embedded Systems Education in the Arduino Age: Lessons Learned and Future Directions. *International Journal of Engineering Pedagogy*,7(2), 79–93. https://doi.org/10.3991/ijep.v7i2.6845

Garip İ. (2008), *Alternatörlerin Otomatik Paralel Bağlanması için Eğitim Amaçlı Bir Deney Setinın Geliştirilmesi ve Etkililiğinin Değerlendirilmesi* (Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)

Gupta, N., Tejovanth, N. & Murthy, P. (2012). *Learning by creating: Interactive Programming for Indian High Schools*. International Conference on

Technology Enhanced Education (ICTEE). January 03-05, Surathkal, India, 1-3.

Gülcan R. (2019), *Uzaktan Kontrollü Arm Tabanlı Mikrodenetleyici Deney Seti Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)

Günaydın, R. (2014). *Uzaktan erişimli web tabanlı mikrodenetleyici deney seti tasarımı ve Gerçekleştirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

Herger, M. L. (2015). *Engaging Students with Open Source Technologies and Arduino*. 5th IEEE Integrated STEM Conference. March 07, Princeton, New Jersey, 144-148. DOI: 10.1109/ISECon.2015.7119938

Hentrup, A. A., Lu, D. & Roldan, P. R. (2016). *Wireless Authentication of Smart Doors Using RFID.* Loyola Marymount University and Loyola Law School Digital Commons at Loyola Marymount University and Loyola Law School, https://digitalcommons.lmu.edu/honors-thesis/133/ (Son erişim tarihi: 15 Şubat 2020)

Hoffer, B. M. (2012). *Satisfying STEM Education Using the Arduino Microprocessor in C Programming*. (Yüksek Lisans Tezi, East Tennessee State University, Department of Engineering Technology)

Irmak, E. & Calpbinici, A. (2017). E-laboratuvarlar için yeni bir tasarım: Eş zamanlı erişilebilen deneysel uygulama platformu. *Journal of the Faculty of Engineering and architecture of Gazi University*, *32*, 363–375.

Jamieson, P. (2012). *Arduino for teaching embedded systems. Are computer scientists and engineering educators missing the boat?*. CiteSeerX, https://www.semanticscholar.org/paper/Arduino-for-Teaching-Embedded-Systems-.-Are-and-the-Jamieson/2f22430ee4641c3460c3d78f6b19cbd5ae0d86af (Son erişim tarihi: 28 Şubat 2020)

Kaçar, S., Boz, A. F., Arıcıoğlu, B. & Tekin, H. (2016). PID Denetleyici Uygulamaları İçin Yeni Bir Online Deney Seti Tasarımı. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,* doi: 10.16984/saufenbilder.12551

Kamilov, M., Hudayberdiev, M. & Khamroev, A., (2019). Algorithm for the Development of a Training Set that Best Describes the Objects of Recognition. *Procedia Computer Science*, 150, 116-122. https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.02.024

Medin, G. L. & Petric, M. (2015). *Embedded Lab: Arduino Projects in Science Lessons*. 4th Mediterranean Conference on Embedded Computing. June 14-18, Budva, Montenegro. 155-163.

Merino, P. P., Ruiz, E. S., Fernandez, G. C. & Gil, M. C. (2016). *Robotic Educational Tool to Engage Students on Engineering*. XII Technologies Applied to Electronics Teaching Conference. June 22-24, Seville, 1-4.

Mutlu, A. & Sürmeli, C. (2015). *Mikrodenetleyiciler ile Seri İletişim.* Kodlab Yayıncılık (İstanbul).

Nath, B., Reynolds, F., & Want, R. (2006). RFID technology and applications. *IEEE Pervasive Computing*, 22-24

Ovatman, T., Brekling, A.W. & Hansen, M.R. (2010). Cost Analysis for Embedded Systems: Experiments With Priced Timed Automata. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science, 238* : 81-95.

Ömürlü, V. Ö. (2020). *Otomatik Kontrol I. P(oransal) I(integral) D(türevsel) kontrol.* https://docplayer.biz.tr/271952-Otomatik-kontrol-i-p-oransal-i-integral-d-turevsel-kontrol-dr-vasfi-emre-omurlu.html (Son erişim tarihi: 07.05.2020)

Özbek M. (2014), *Temel Haberleşme Laboratuvarı İçin Bilgisayar Destekli Modülasyon Demodülasyon Deney Seti* (Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)

Parladır Karcı, A. (2018). *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Sulama Şebekelerinin Performans Değerlendirmesinde Kullanılması: Atabey Sulama Şebekesi Örneği*. (Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü)

Sarıkaş, A. & Yayla, A. (2017). Uzaktan erişimli mikrodenetleyici laboratuvarı. *Journal of Research in Education and Teaching*, *6*, 283–296.

Shaikh S. A. (2015), *Two Axis Direction Finding Antenna System Using Difference – Sum Patterns In X-Band* (Yüksek Lisans Tezi, Sabancı Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Enstitüsü)

Shim, J., Ko, j. & Shim, J. (2014). A Study on Training Courses Development and Analysis for Improving the Creativity Using Arduino. *Journal of Korea Multimedia Society*, *17(4)*, 514–525.

Soriano, A., Marin, L., Valles, M., Valera, A. & Albertos, P. (2014). *Low Cost Platform for Automatic Control Education Based on Open Hardware*. Preprints of the 19th World Congress The International Federation of Automatic Control. August 24-29, Cape Town, South Africa, 9044-9050.

Süzen, A. A. & Taşdelen, K. (2018). Havalimanları İçin Bagaj Teslimat Sistemi. *SDU International Journal of Technological Sciences*, 10(2), 14-21.

Şimşek, M. A. (2015). *Arduino Kart ile Tasarlanmış Sistemlerin İnternet Tabanlı Kontrolü ve İzlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

Temiz K. B. & Kanlı U., *Üniversite 1. Sınıf Öğrencilerinin Temel Fizik Laboratuvar Araçlarını Tanıma Bilgileri, Milli Eğitim Dergisi,* http://dhgm.meb.gov.tr/yayimlar/dergiler/milli_egitim_dergisi/168/index3-temiz.htm (Ziyaret tarihi: 10 Ocak 2020).

Wei, D., Tundong, L., & Zhongjie, Z. (2012). Application of Radio Frequency Identification Module MFRC522 in Access Control System. *Microcontrollers & Embedded Systems*, 12, 011.

Yaren, T., Süel, V., Yeniaydın, Y., Sakacı, B. & Kizir, S. (2014). *STM32F4 Kiti ile Simulink Tabanlı Kontrol Eğitimi Uygulamaları Geliştirme*. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, 11-13 September 2014, Kocaeli, 65-66.

EKLER

EK A. DC Röle Datasheet

EK B. Motor Sürücü Datasheet

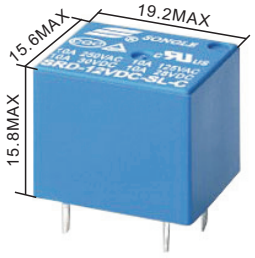
EK C. Atmega 2560 Bağlantı detayı

SRD Series SUBMINATURE HIGH POWER RELAY 7A/10A/15A

E167996

R50056114
R50137084

CQC08002027667



RoHS Compliant

Features

- Miniature volume, PCB usage
- Contact rating: 7A/10A/15A
- Temperature range: +85℃/+105℃

Ordering Information

SRD-12VDC-S L-C

- A / B / C — Contact arrangment
- L0. 36W / D0. 45W — Coil Power
- S sealed / F dustproof — Construction
- 5V / 6V / 9V / 12V 18V / 24V / 36V / 48V — Coil Voltage
- Part number

Contact Rating

Contact a rrangment	1A(spstno)/1B(Spstnc)/1C(Spdt)
Contact resistance	100mΩ (1A 6VDC)
Contact material	Silver alloy: AgCdO、AgSnO2、AgNi
Contact rating	7A/250VAC 10A/250VAC 15A/250VAC
Max switching voltage	250VAC
Max switching current	15A
Max switching power	3750VA
Electrical endurance (frequency: 1800 ops/h)	$1x10^5$ ops / $1x10^4$ ops
Mechanical endurance (frequency: 18000 ops/h)	$1x10^7$ ops

Characteristics

Insulation system		Class B / Class F
Insulation resistance		100MΩ(500VDC)
Dielectric Strength Leakage current 1mA	Between contacts and coil	1500VAC 1minute
	Between open contacts	1000VAC 1minute
Operate time(Under nominal voltage)		≤10ms
Release time(Under nominal voltage)		≤10ms
Humidity		85% RH（20℃）
Ambient Temperature		-40℃~+85℃/-40℃~+105℃
Shock resistance	Functional	98m/s²
	Destructive	980m/s²
Vibration resistance (Double amplitude)		10Hz~55Hz 1.5mm
Weight		Approx 9g
Construction		Sealed

Remark:1)All above data is initial value

Coil Data （at 20℃）

Power dissipation W	Voltage VDC	Current mA	Resistance Ω±10%	Pick-up voltage	Drop-out voltage	Max allowable
0.36W (L)	05	71.4	70	75%Max	10%Min	130%
	06	60	100			
	09	40	225			
	12	30	400			
	18	20	900			
	24	15	1600			
	36	10	3600			
	48	7.5	6400			
0.45W (D)	05	89.3	55	75%Max	10%Min	130%
	06	75	80			
	09	50	180			
	12	37.5	320			
	18	25	720			
	24	18.7	1280			
	36	12.5	2880			
	48	10	4500			

This product specification only for your reference, we will not notify you if we do any improvement. We reserve all the right for the final explanation

松乐继电器 SONGLE RELAY

Web：www.songle.com www.songlerelay.com
Add.：CW7, Zone A, Far East Industrial Park, Yuyao City, Zhejiang, China Zip Code：315400

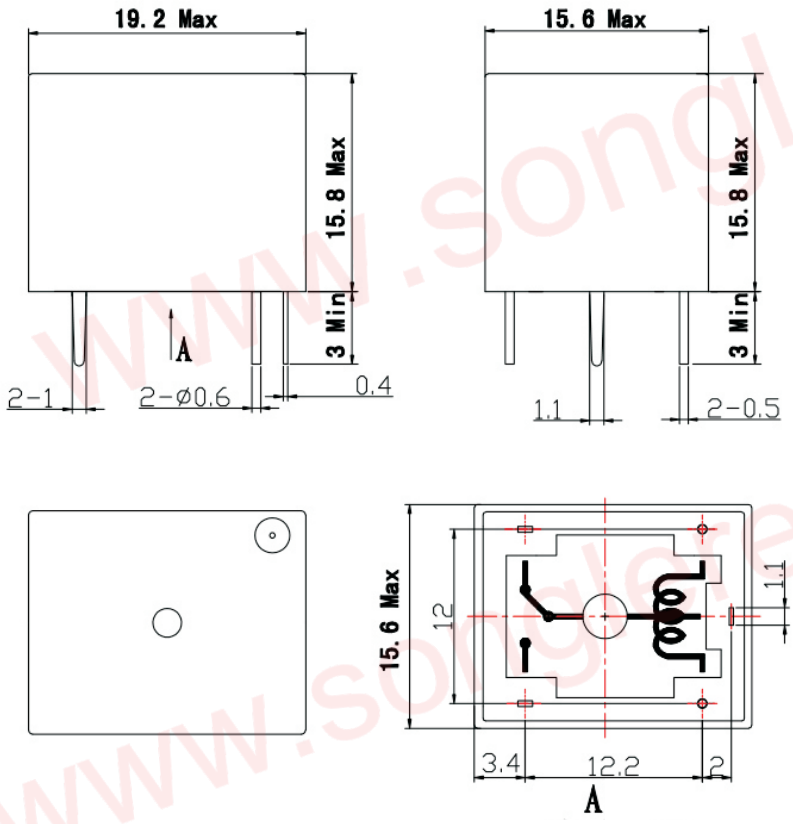
SRD Series SUBMINATURE HIGH POWER RELAY 7A/10A/15A

Safety Approval Ratings

CQC CQC08002027667	R50056114 R50137084	c UL us E167996
7A 250VAC 10A 250VAC	7A 250VAC 10A 250VAC 15A 250VAC NO	3A 125VAC inductive 10A 125VAC 15A 125VAC NO

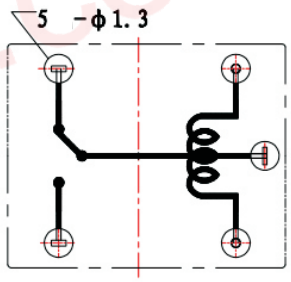
OUTLINE DIMENSIONS ,WIRING DIAGRAM AND PC BOARD LAYOUT Unit:mm

Physical installation diagram

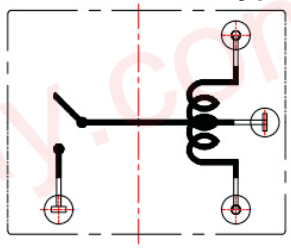


（Bottom view）

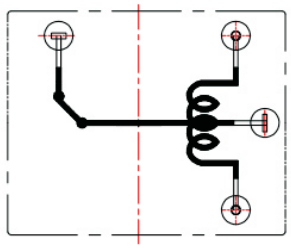
PCB board diagram
（bottom view diagram）



Conversion C type



Normally open A type



Normally closed B type

Tolerance：±0. 1mm

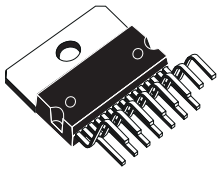
This product specification only for your reference, we will not notify you if we do any improvement. We reserve all the right for the final explanation

松乐继电器 SONGLE RELAY
Web：www.songle.com www.songlerelay.com
Add.：CW7, Zone A, Far East Industrial Park, Yuyao City, Zhejiang, China Zip Code：315400

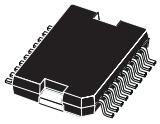
L298

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)



Multiwatt15



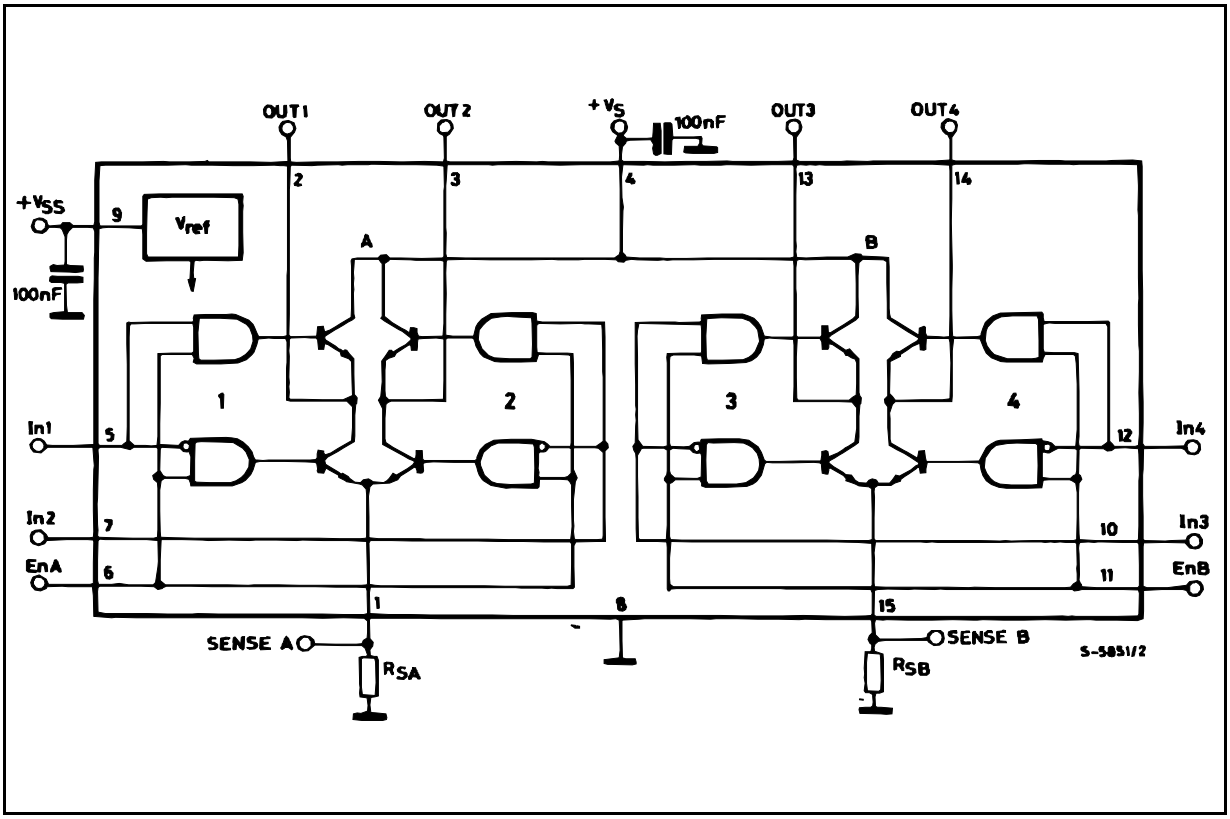
PowerSO20

ORDERING NUMBERS : L298N (Multiwatt Vert.)
L298HN (Multiwatt Horiz.)
L298P (PowerSO20)

DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the connection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

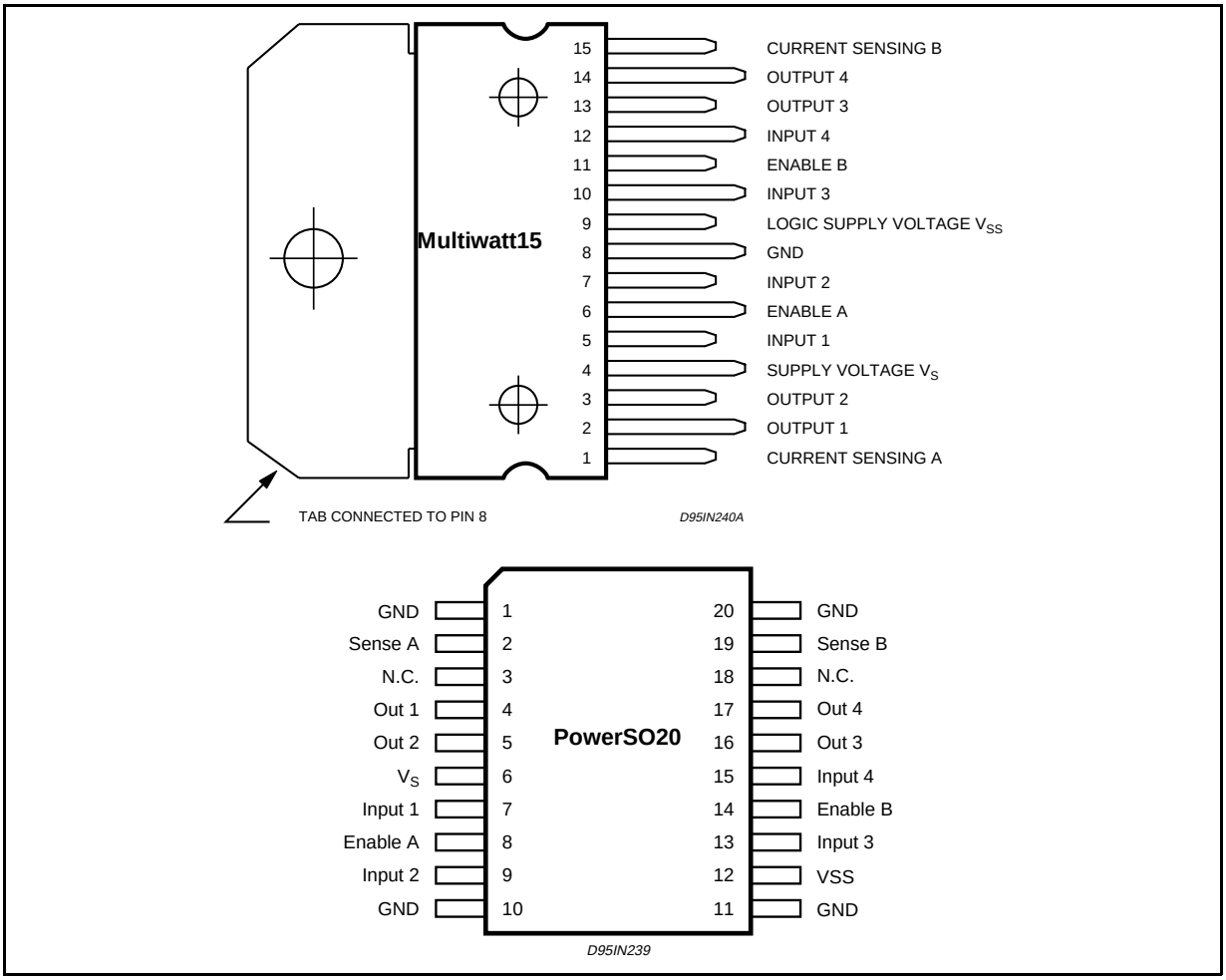
BLOCK DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Power Supply	50	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage	7	V
V_I,V_{en}	Input and Enable Voltage	–0.3 to 7	V
I_O	Peak Output Current (each Channel) – Non Repetitive (t = 100µs) –Repetitive (80% on –20% off; t_{on} = 10ms) –DC Operation	 3 2.5 2	 A A A
V_{sens}	Sensing Voltage	–1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation (T_{case} = 75°C)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	–25 to 130	°C
T_{stg}, T_j	Storage and Junction Temperature	–40 to 150	°C

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

Symbol	Parameter		PowerSO20	Multiwatt15	Unit
$R_{th\ j\text{-}case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max.	–	3	°C/W
$R_{th\ j\text{-}amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max.	13 (*)	35	°C/W

(*) Mounted on aluminum substrate

PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW.15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V_S	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	VSS	Supply Voltage for the Logic Blocks. A100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;15	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
–	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_S = 42V; V_{SS} = 5V, T_j = 25°C; unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_S	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	V_{IH} +2.5		46	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage (pin 9)		4.5	5	7	V
I_S	Quiescent Supply Current (pin 4)	V_{en} = H; I_L = 0 V_i = L V_i = H		13 50	22 70	mA mA
		V_{en} = L V_i = X			4	mA
I_{SS}	Quiescent Current from V_{SS} (pin 9)	V_{en} = H; I_L = 0 V_i = L V_i = H		24 7	36 12	mA mA
		V_{en} = L V_i = X			6	mA
V_{iL}	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		–0.3		1.5	V
V_{iH}	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		VSS	V
I_{iL}	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V_i = L			–10	µA
I_{iH}	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	Vi = H ≤ V_{SS} –0.6V		30	100	µA
V_{en} = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		–0.3		1.5	V
V_{en} = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V_{SS}	V
I_{en} = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V_{en} = L			–10	µA
I_{en} = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V_{en} = H ≤ V_{SS} –0.6V		30	100	µA
$V_{CEsat\ (H)}$	Source Saturation Voltage	I_L = 1A I_L = 2A	0.95	1.35 2	1.7 2.7	V V
$V_{CEsat\ (L)}$	Sink Saturation Voltage	I_L = 1A (5) I_L = 2A (5)	0.85	1.2 1.7	1.6 2.3	V V
V_{CEsat}	Total Drop	I_L = 1A (5) I_L = 2A (5)	1.80		3.2 4.9	V V
V_{sens}	Sensing Voltage (pins 1, 15)		–1 (1)		2	V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
T_1 (V_i)	Source Current Turn-off Delay	0.5 V_i to 0.9 I_L (2); (4)		1.5		µs
T_2 (V_i)	Source Current Fall Time	0.9 I_L to 0.1 I_L (2); (4)		0.2		µs
T_3 (V_i)	Source Current Turn-on Delay	0.5 V_i to 0.1 I_L (2); (4)		2		µs
T_4 (V_i)	Source Current Rise Time	0.1 I_L to 0.9 I_L (2); (4)		0.7		µs
T_5 (V_i)	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V_i to 0.9 I_L (3); (4)		0.7		µs
T_6 (V_i)	Sink Current Fall Time	0.9 I_L to 0.1 I_L (3); (4)		0.25		µs
T_7 (V_i)	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V_i to 0.9 I_L (3); (4)		1.6		µs
T_8 (V_i)	Sink Current Rise Time	0.1 I_L to 0.9 I_L (3); (4)		0.2		µs
fc (V_i)	Commutation Frequency	I_L = 2A		25	40	KHz
T_1 (V_{en})	Source Current Turn-off Delay	0.5 V_{en} to 0.9 I_L (2); (4)		3		µs
T_2 (V_{en})	Source Current Fall Time	0.9 I_L to 0.1 I_L (2); (4)		1		µs
T_3 (V_{en})	Source Current Turn-on Delay	0.5 V_{en} to 0.1 I_L (2); (4)		0.3		µs
T_4 (V_{en})	Source Current Rise Time	0.1 I_L to 0.9 I_L (2); (4)		0.4		µs
T_5 (V_{en})	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V_{en} to 0.9 I_L (3); (4)		2.2		µs
T_6 (V_{en})	Sink Current Fall Time	0.9 I_L to 0.1 I_L (3); (4)		0.35		µs
T_7 (V_{en})	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V_{en} to 0.9 I_L (3); (4)		0.25		µs
T_8 (V_{en})	Sink Current Rise Time	0.1 I_L to 0.9 I_L (3); (4)		0.1		µs

1) 1)Sensing voltage can be –1 V for t ≤ 50 µsec; in steady state V_{sens} min ≥ – 0.5 V.
2) See fig. 2.
3) See fig. 4.
4) The load must be a pure resistor.

Figure 1 : Typical Saturation Voltage vs. Output Current.

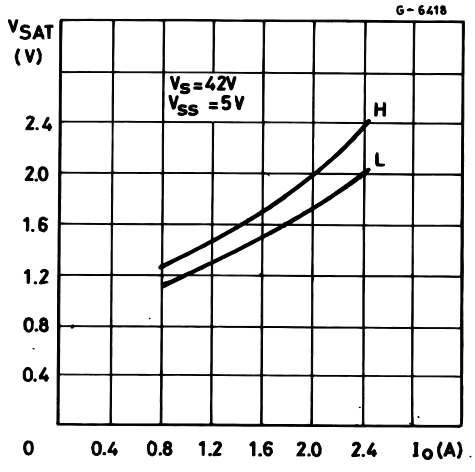
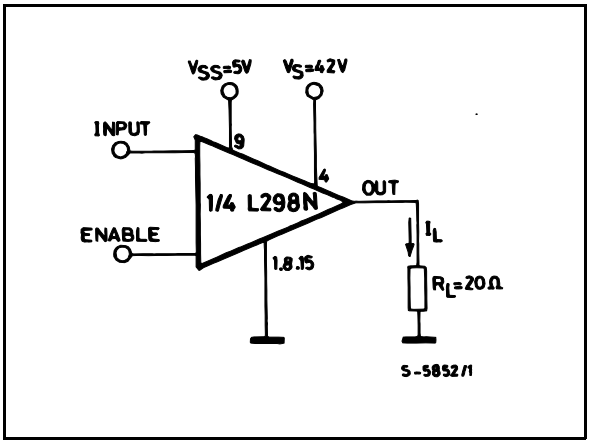


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H
For ENABLE Switching, set IN = H

Figure 3 : Source Current Delay Times vs. Input or Enable Switching.

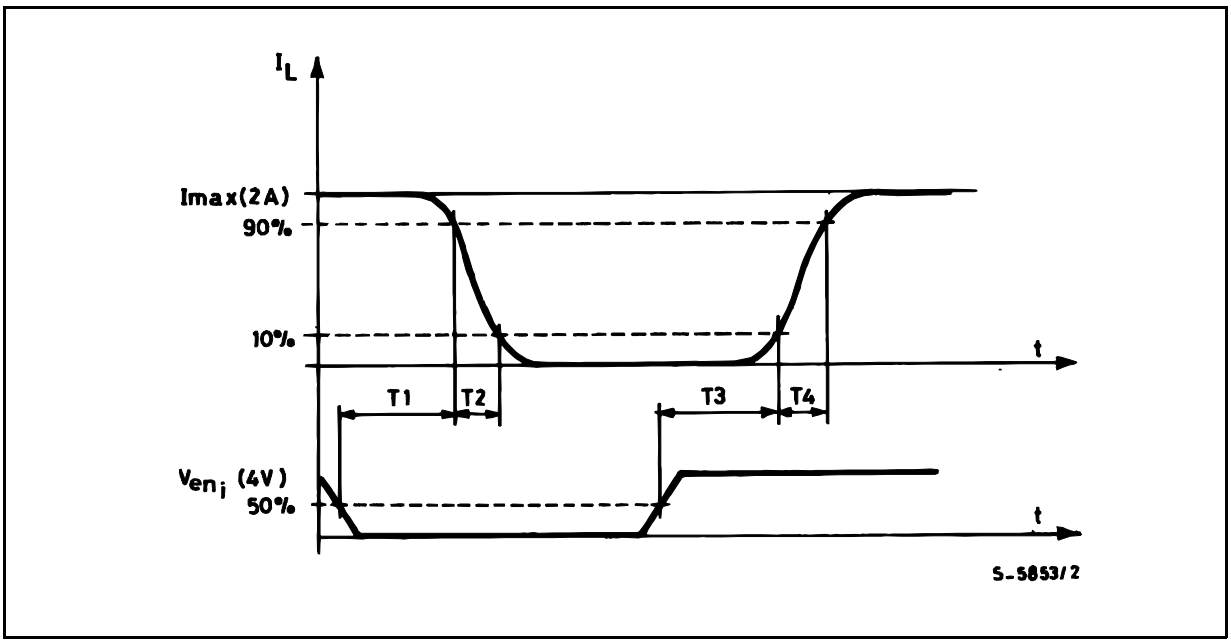
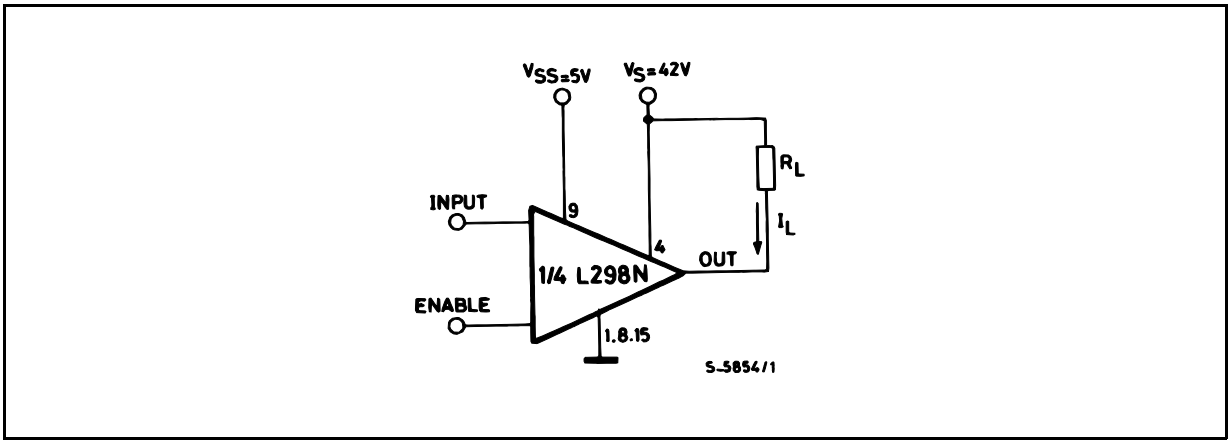


Figure 4 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H
For ENABLE Switching, set IN = L

Figure 5 : Sink Current Delay Times vs. Input 0 V Enable Switching.

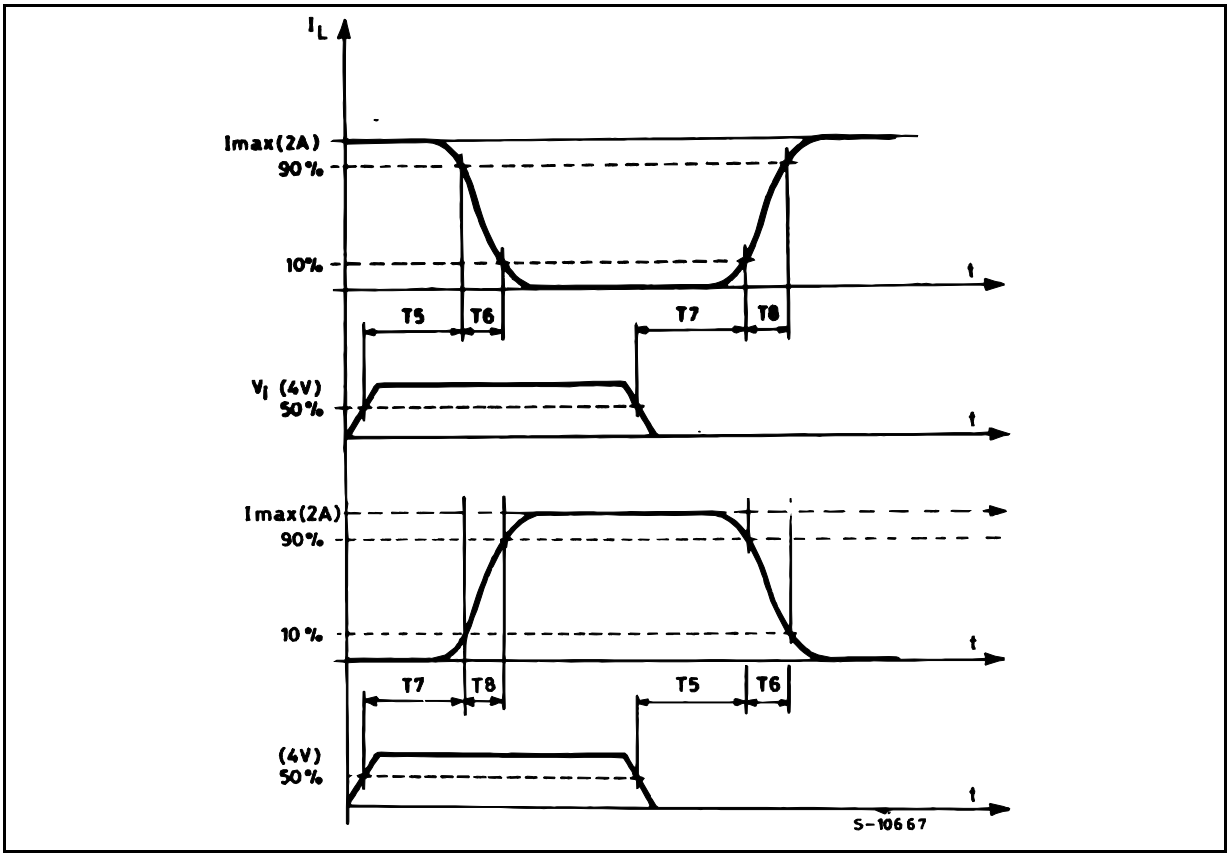
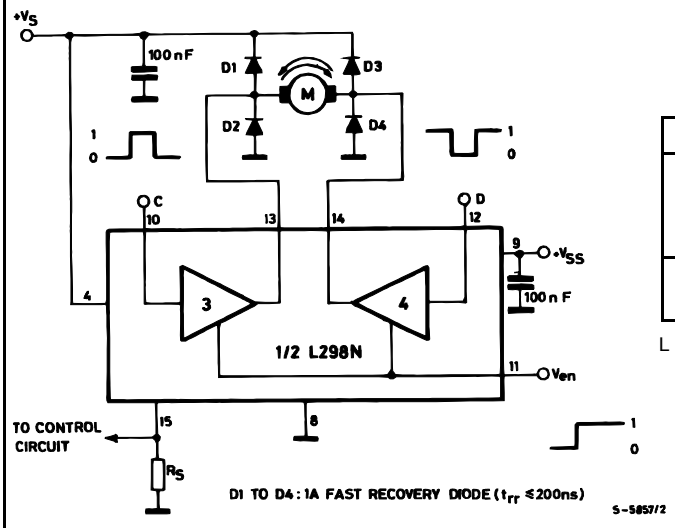


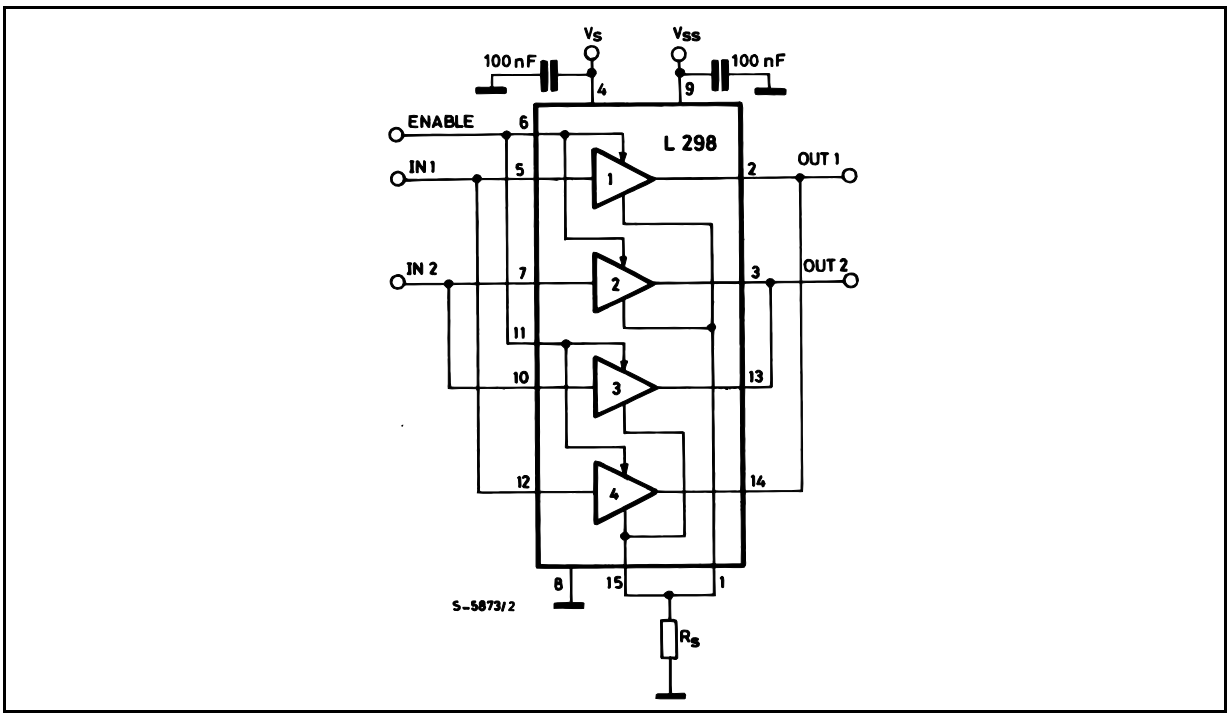
Figure 6 : Bidirectional DC Motor Control.



Inputs		Function
V_{en} = H	C = H ; D = L	Forward
	C = L ; D = H	Reverse
	C = D	Fast Motor Stop
V_{en} = L	C = X ; D = X	Free Running Motor Stop

L = Low H = High X = Don't care

Figure 7 : For higher currents, outputs can be paralleled. Take care to parallel channel 1 with channel 4 and channel 2 with channel 3.



APPLICATION INFORMATION (Refer to the block diagram)

1.1. POWER OUTPUT STAGE

The L298 integrates two power output stages (A ; B). The power output stage is a bridge configuration and its outputs can drive an inductive load in common or differenzial mode, depending on the state of the inputs. The current that flows through the load comes out from the bridge at the sense output : an external resistor (R_{SA} ; R_{SB}.) allows to detect the intensity of this current.

1.2. INPUT STAGE

Each bridge is driven by means of four gates the input of which are In1 ; In2 ; EnA and In3 ; In4 ; EnB. The In inputs set the bridge state when The En input is high ; a low state of the En input inhibits the bridge. All the inputs are TTL compatible.

2. SUGGESTIONS

A non inductive capacitor, usually of 100 nF, must be foreseen between both Vs and Vss, to ground, as near as possible to GND pin. When the large capacitor of the power supply is too far from the IC, a second smaller one must be foreseen near the L298.

The sense resistor, not of a wire wound type, must be grounded near the negative pole of Vs that must be near the GND pin of the I.C.

Each input must be connected to the source of the driving signals by means of a very short path.

Turn-On and Turn-Off : Before to Turn-ON the Supply Voltage and before to Turn it OFF, the Enable input must be driven to the Low state.

3. APPLICATIONS

Fig 6 shows a bidirectional DC motor control Schematic Diagram for which only one bridge is needed. The external bridge of diodes D1 to D4 is made by four fast recovery elements (trr $\leq$ 200 nsec) that must be chosen of a VF as low as possible at the worst case of the load current.

The sense output voltage can be used to control the current amplitude by chopping the inputs, or to provide overcurrent protection by switching low the enable input.

The brake function (Fast motor stop) requires that the Absolute Maximum Rating of 2 Amps must never be overcome.

When the repetitive peak current needed from the load is higher than 2 Amps, a paralleled configuration can be chosen (See Fig.7).

An external bridge of diodes are required when inductive loads are driven and when the inputs of the IC are chopped ; Shottky diodes would be preferred.

This solution can drive until 3 Amps In DC operation and until 3.5 Amps of a repetitive peak current.

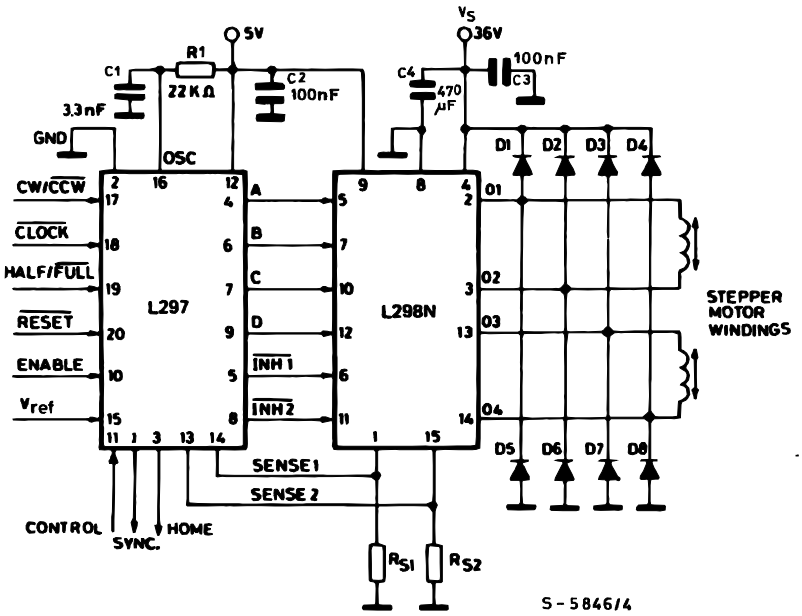
On Fig 8 it is shown the driving of a two phase bipolar stepper motor ; the needed signals to drive the inputs of the L298 are generated, in this example, from the IC L297.

Fig 9 shows an example of P.C.B. designed for the application of Fig 8.

Fig 10 shows a second two phase bipolar stepper motor control circuit where the current is controlled by the I.C. L6506.

Figure 8 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Circuit.

This circuit drives bipolar stepper motors with winding currents up to 2 A. The diodes are fast 2 A types.



$R_{S1} = R_{S2} = 0.5\ \Omega$

D1 to D8 = 2 A Fast diodes { $V_F \leq 1.2$ V @ I = 2 A
trr ≤ 200 ns

Figure 9 : Suggested Printed Circuit Board Layout for the Circuit of fig. 8 (1:1 scale).

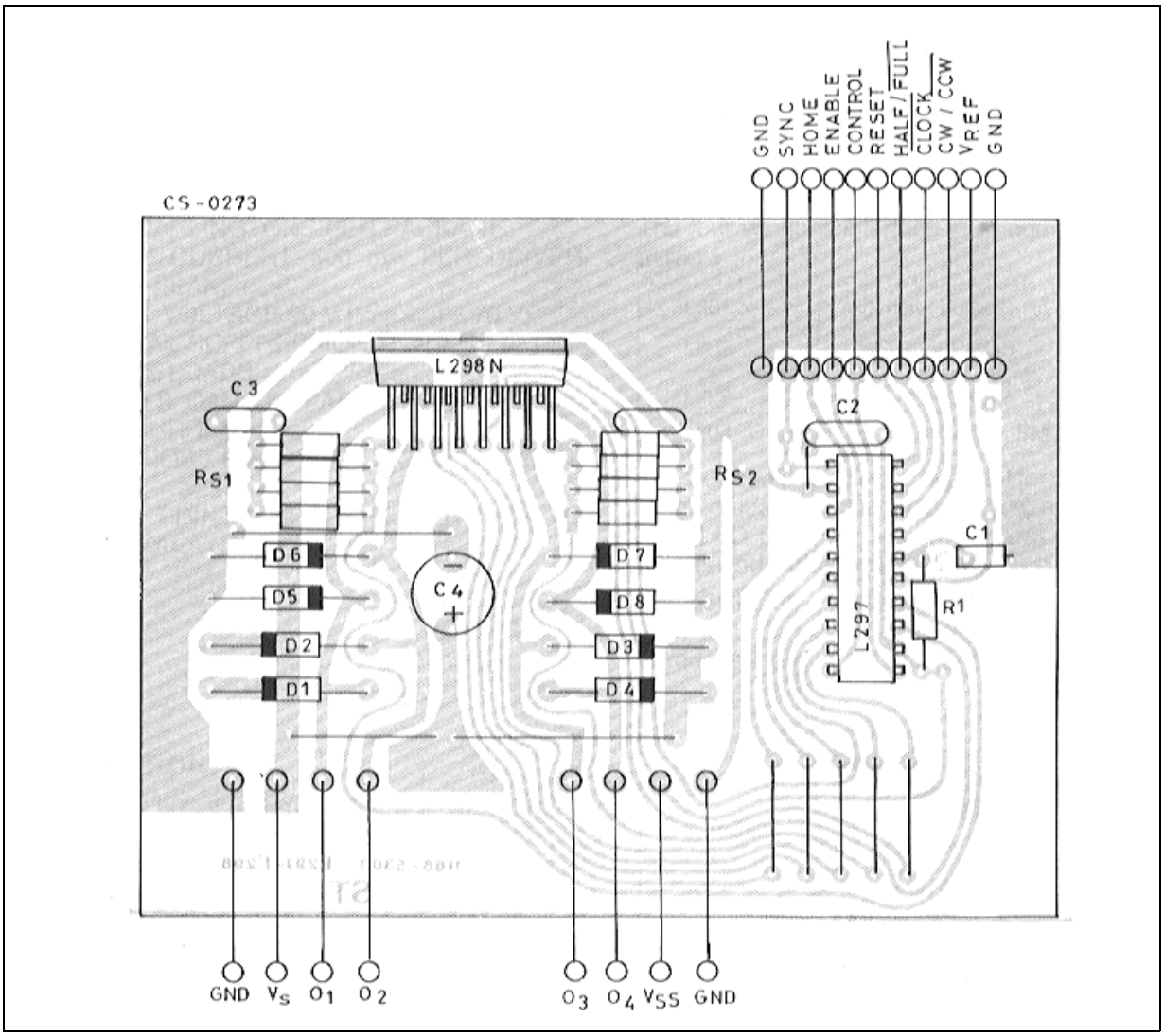
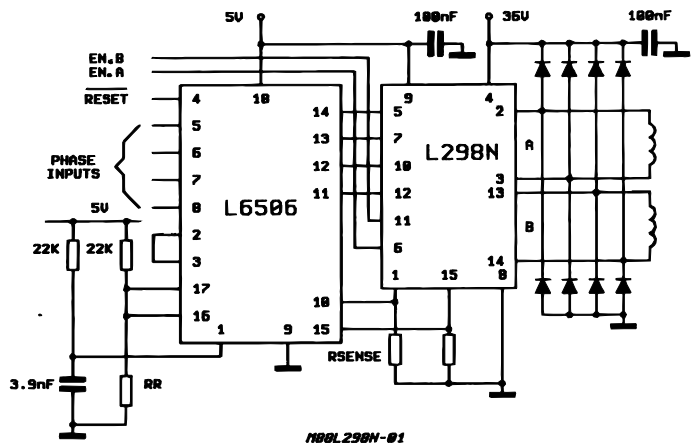


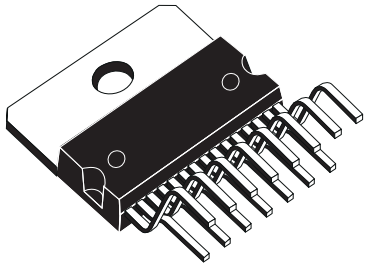
Figure 10 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Control Circuit by Using the Current Controller L6506.



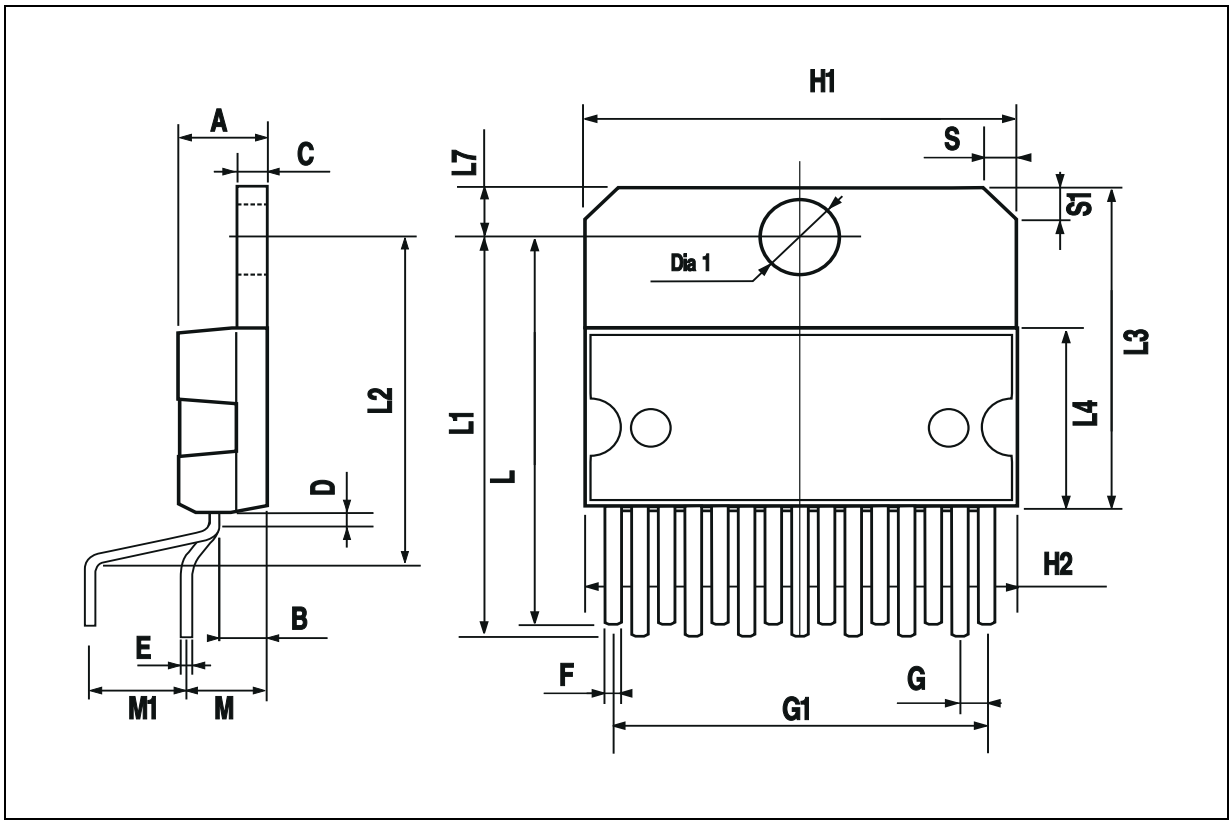
R_R and R_{sense} depend from the load current

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
D		1			0.039	
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.02	1.27	1.52	0.040	0.050	0.060
G1	17.53	17.78	18.03	0.690	0.700	0.710
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L	21.9	22.2	22.5	0.862	0.874	0.886
L1	21.7	22.1	22.5	0.854	0.870	0.886
L2	17.65		18.1	0.695		0.713
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
M	4.25	4.55	4.85	0.167	0.179	0.191
M1	4.63	5.08	5.53	0.182	0.200	0.218
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

OUTLINE AND MECHANICAL DATA

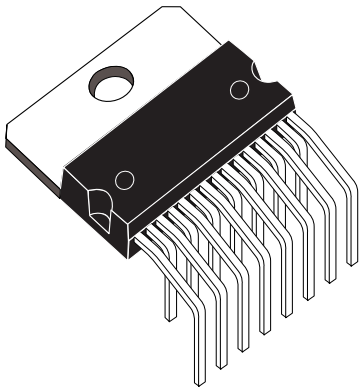


Multiwatt15 V

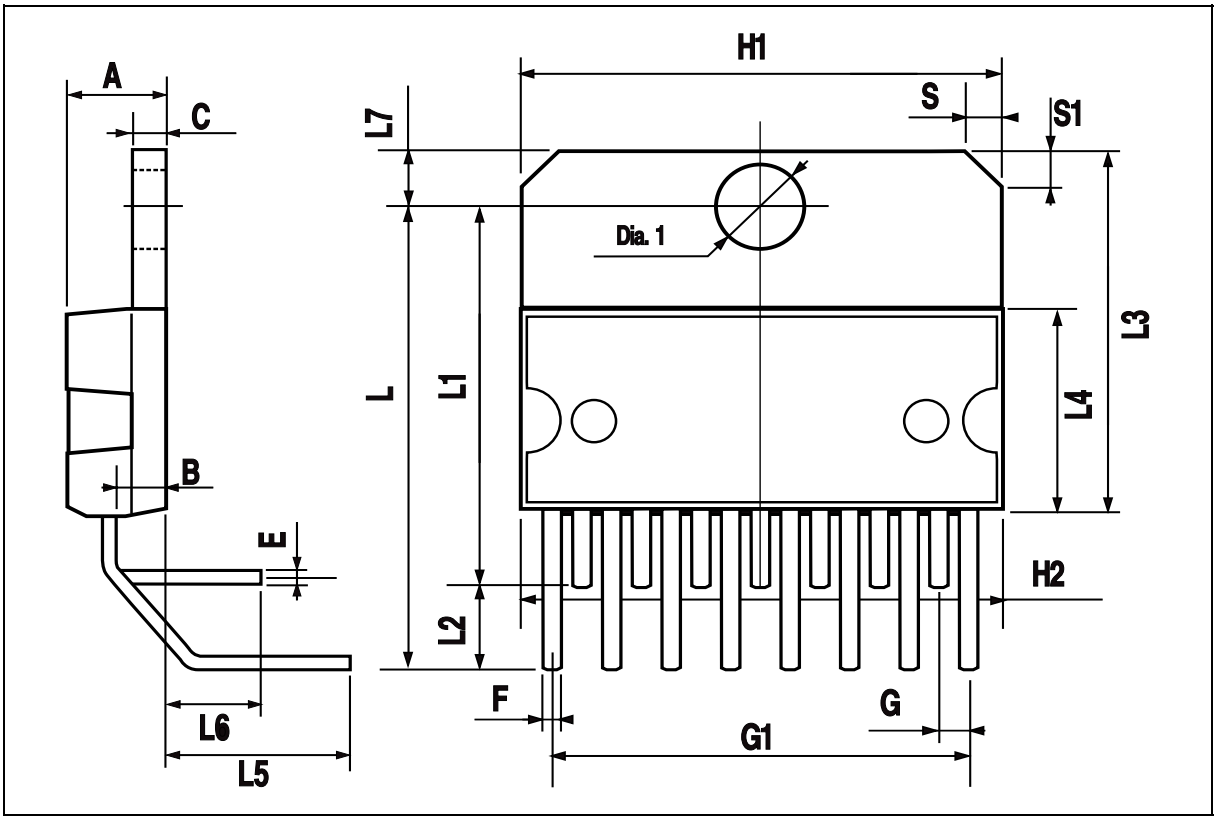


DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.14	1.27	1.4	0.045	0.050	0.055
G1	17.57	17.78	17.91	0.692	0.700	0.705
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L		20.57			0.810	
L1		18.03			0.710	
L2		2.54			0.100	
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L5		5.28			0.208	
L6		2.38			0.094	
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



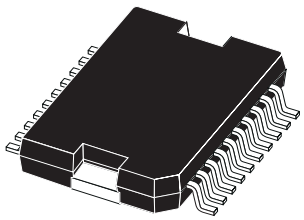
Multiwatt15 H



DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			3.6			0.142
a1	0.1		0.3	0.004		0.012
a2			3.3			0.130
a3	0		0.1	0.000		0.004
b	0.4		0.53	0.016		0.021
c	0.23		0.32	0.009		0.013
D (1)	15.8		16	0.622		0.630
D1	9.4		9.8	0.370		0.386
E	13.9		14.5	0.547		0.570
e		1.27			0.050	
e3		11.43			0.450	
E1 (1)	10.9		11.1	0.429		0.437
E2			2.9			0.114
E3	5.8		6.2	0.228		0.244
G	0		0.1	0.000		0.004
H	15.5		15.9	0.610		0.626
h			1.1			0.043
L	0.8		1.1	0.031		0.043
N	10˚ (max.)					
S	8˚ (max.)					
T		10			0.394	

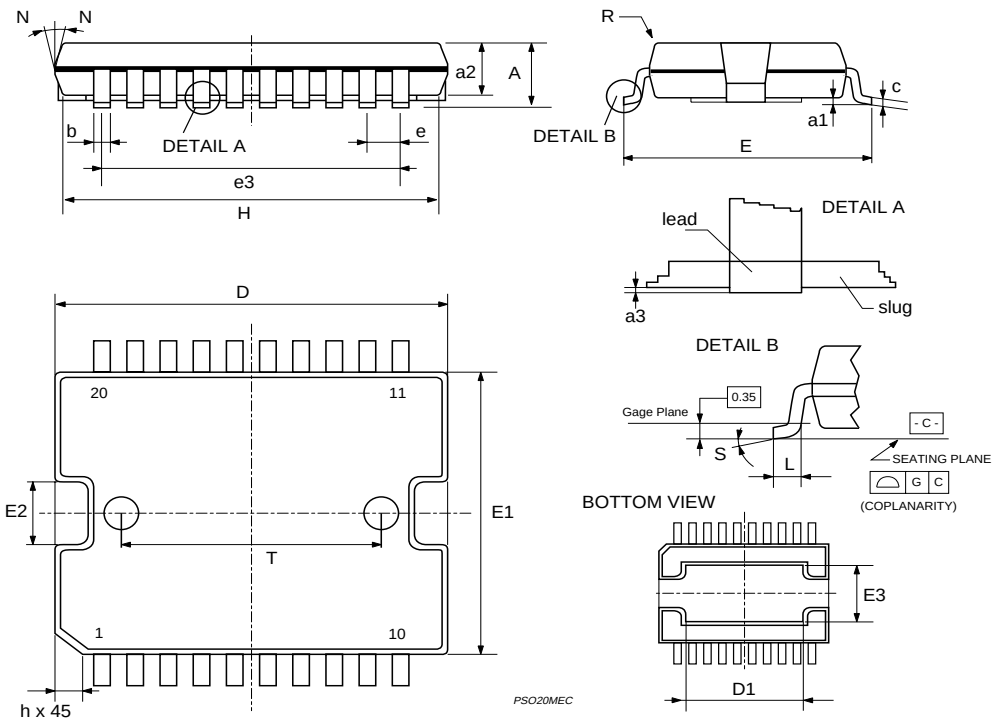
(1) "D and F" do not include mold flash or protrusions.
- Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15 mm (0.006").
- Critical dimensions: "E", "G" and "a3"

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



JEDEC MO-166

PowerSO20



Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

© 2000 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved

STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

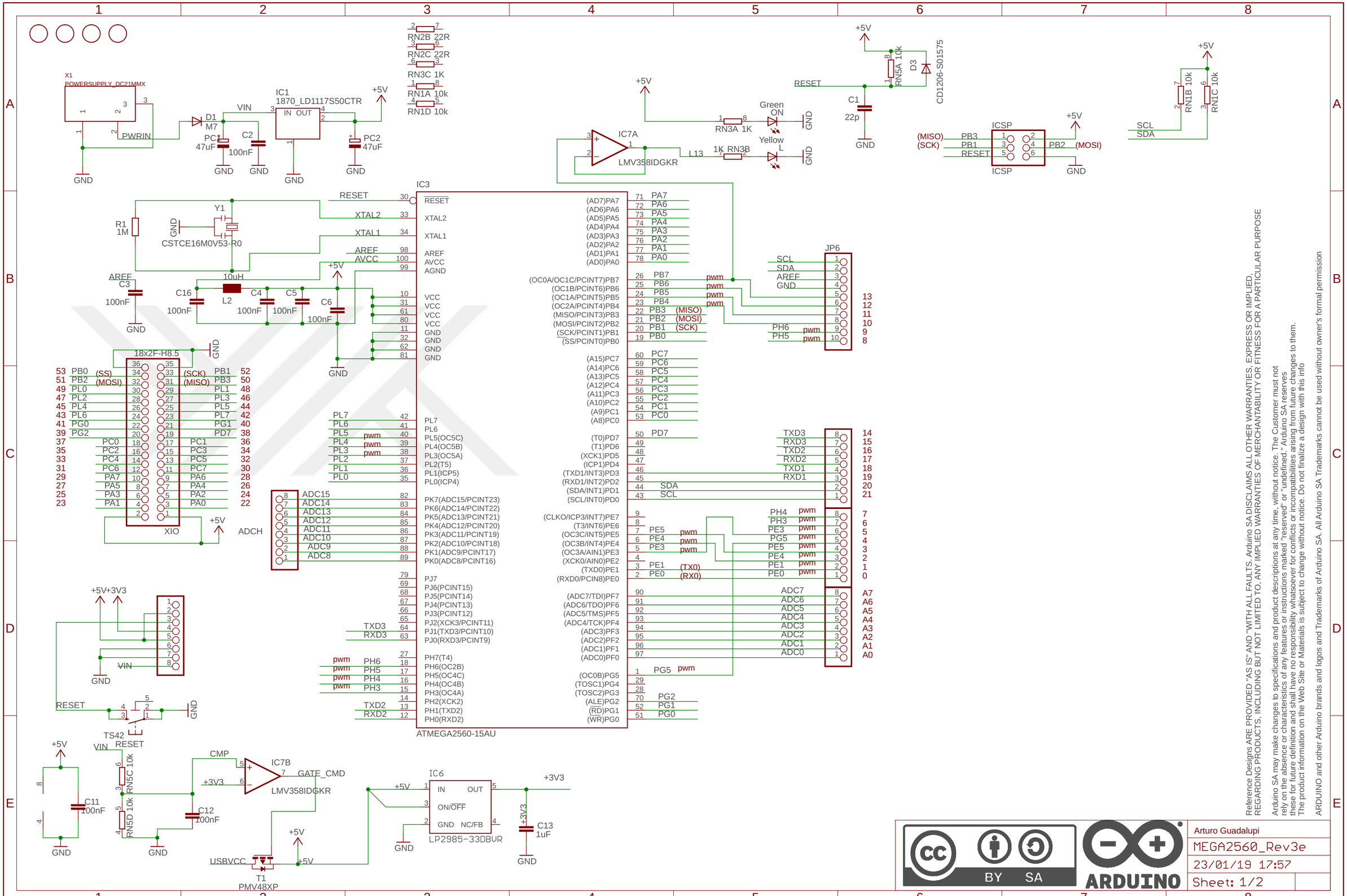
Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - U.S.A.

http://www.st.com

This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.



Reference Designs ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS. Arduino SA DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE

Arduino SA may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined." Arduino SA reserves these for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this info

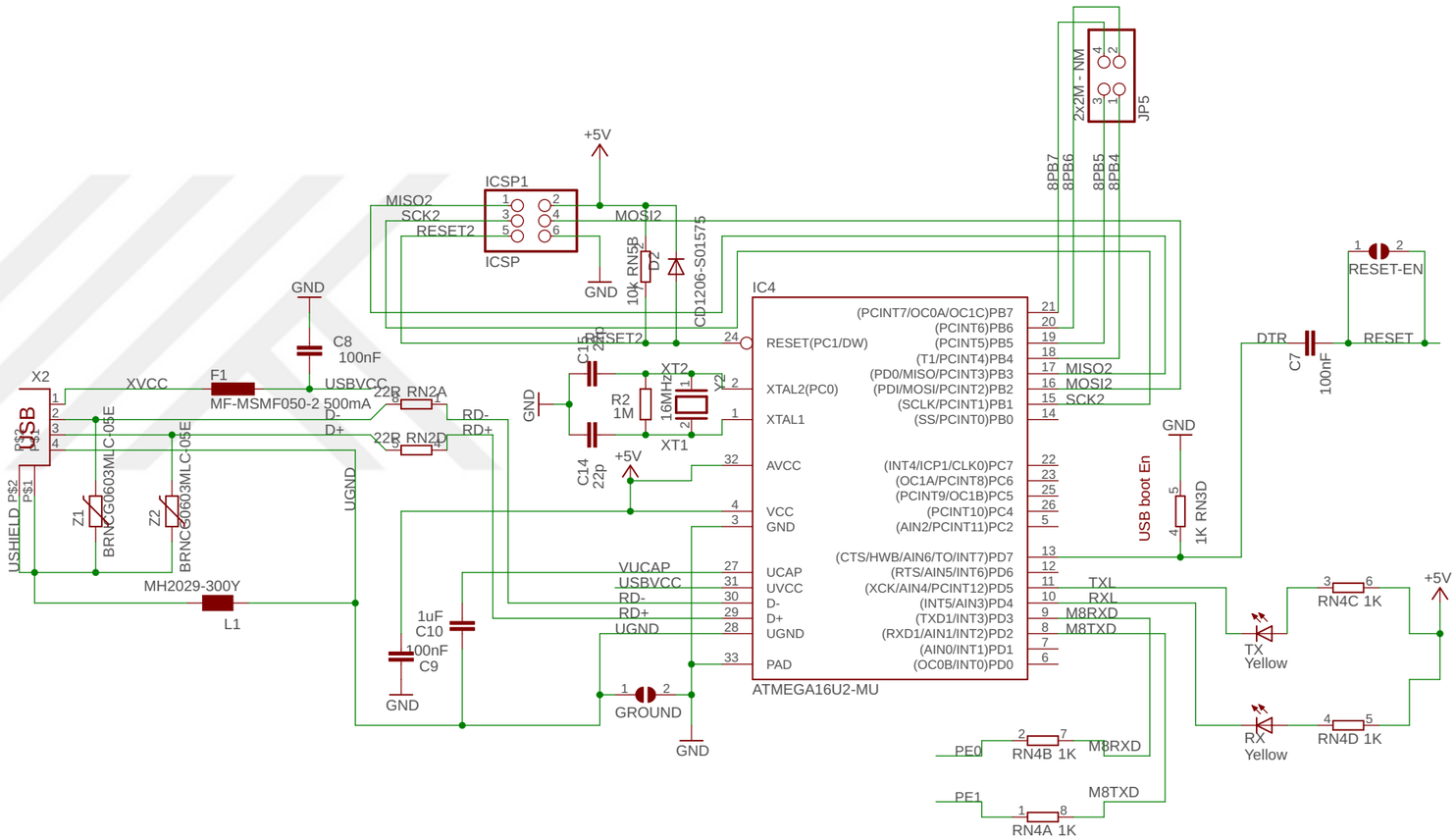
ARDUINO and other Arduino brands and logos and Trademarks of Arduino SA. All Arduino SA Trademarks cannot be used without owner's formal permission

Arturo Guadalupi

MEGA2560_Rev3e

23/01/19 17:57

Sheet: 1/2



Reference Designs ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS. Arduino SA DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE

Arduino SA may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined." Arduino SA reserves these for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this info

ARDUINO and other Arduino brands and logos and Trademarks of Arduino SA. All Arduino SA Trademarks cannot be used without owner's formal permission

Arturo Guadalupi

MEGA2560_Rev3e

23/01/19 17:57

Sheet: 2/2

ÖZGEÇMİŞ



Adı Soyadı : Fatih YOLDAŞ

Doğum Yeri ve Yılı : Isparta, 1986

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : fyoldas@mehmetakif.edu.tr

Eğitim Durumu

Lise : Isparta Anadolu Lisesi, 2004

Lisans : Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, 2010

Mesleki Deneyim

ELSİS ENERJİ A.Ş.	2010-2012
GSR ENERJİ LTD. ŞTİ.	2012-2014
ASUNIM CO.	2014-2016
FATİH ENERJİ DANIŞMANLIK LTD. ŞTİ.	2016-2017
MHEMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ	2017- (halen)

Yayınlar

Temiz, D., Kumaş, K., İnan, O., Yıldırım, R., Yoldaş, F., Ayan, M. & Akyüz, A. Ö. (2017). Development of reactor for biogas production for educational purposes. *Mesleki Bilimler Dergisi, 6(3),* 334-339.

Temiz, D., İnan, O., Kumaş, K., Yıldırım, R., Yoldaş, F., Ayan, M. & Akyüz, A. Ö. (2017). Design of Education Hybrid Vehicle For Electrical and Energy Departments. *Mesleki Bilimler Dergisi, 6(3)*, 329–333.

Akyüz, A. Ö., İnan, O., Kumaş, K., Temiz, D. & Yoldaş, F. (2018). Meslek Yüksekokulları ve Mühendislik Fakültelerinin Biyomedikal Bölümleri İçin Eğitim Amaçlı UV Sterilizasyon Ünitesi Tasarımı. *Teknik Bilimler Dergisi, 8(2),* 1–4.

Akyüz, A. Ö., Kumaş, K., Temiz, D., Yoldaş, F. & İnan, O. (2018). Türkiye'de Alternatif Enerji Kaynakları İçin Mesleki Eğitim Veren Kuruluşlar ve Durumları. *Mesleki Bilimler Dergisi, 7(2),* 153–159.

Yoldaş, F., Temiz, D., Kumaş, K., Yıldırım, R., İnan, O., Ayan, M. & Akyüz, A. Ö. (2017). *Solar Energy Plant Design for Education.* Uluslararası Mesleki Bilimler Sempozyumu, 18-20 Ekim, Antalya, 102-108.

Yoldaş, F., Temiz, D., Yıldırım, R. & Kumaş, K. (2017). *Solar Power Plant Feasibility Study for Bucak Emin Gulmez Technical Vocational School of Science.* 1. International Advanced Research and Engıneering Congress, 06-08 Aralık, Osmaniye, 412-416.

Yoldaş, F. & Yıldırım, R. (2018). *Güneş Takip Sistemleri İçin Güneş Açılarının Belirlenmesi.* International Conference on Technology and Science,22-24 Aralık, Antalya, 812-816.

Yoldaş, F., İnan, O. & Akyüz, A. Ö. (2017). *Fotovoltaik güneş modüllerinde optimum açı ve mesafe analizi.* VI. Adım Fizik Günleri,01-04 Ağustos, Balıkesir, 303-306.