

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇ MEKAN MOBİL ROBOT NAVİGASYONU
VE KONTROLÜ

Osman KORKUT

Temmuz, 2013

İZMİR

İÇ MEKAN MOBİL ROBOT NAVİGASYONU VE KONTROLÜ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

**Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekatronik Mühendisliği
Programı**

Osman KORKUT

Temmuz, 2013

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

OSMAN KORKUT, tarafından YARD. DOÇ. DR. AYTAÇ GÖREN yönetiminde hazırlanan “İÇ MEKAN MOBİL ROBOT NAVİGASYONU VE KONTROLÜ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Yard. Doç. Dr. Aytaç GÖREN

Yönetici




Yard. Doç. Dr. Levent GELİN

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Yalçın ÇEBİ

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ayşe OKUR
Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

İç Mekan Mobil Robot Navigasyonu Ve Kontrolü hakkında hazırlamış olduğum Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü lisansüstü tez çalışmamda değerli bilgilerini benden esirgemeyen başta tez yöneticim Sayın Yrd. Doç. Dr. Aytaç GÖREN' e ve tezimin her aşamasında benden özverisini esirgemeyen değerli dostlarım Eren GÜL ve Yalçın ŞAHİN' e teşekkür ederim.

Son olarak beni bu çalışmayı başarıyla sonlandırmamda gayretlendiren ve üzerimden manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme şükranlarımı sunuyor ve teşekkür ediyorum.

Osman KORKUT

İÇ MEKAN MOBİL ROBOT NAVİGASYONU VE KONTROLÜ

ÖZ

Proje mobil robotun çizgi takip performansını arttırmaya yönelik donanım ve yazılım geliştirmeyi amaçlamıştır. Çizgi takip algoritmasının pozisyon geri beslemesi görüntü işleme temeline dayandırılarak elde edilmiştir. Çizgi takip algoritmasından gelen motor hız referansını takip etmeyi kolaylaştırıcı motor sürücü tasarımını geliştirilmiştir. Mobil robot görevleri kablosuz olarak robota bir SCADA ara yüzü ile gönderilmiştir. Bunun yanında robottan gelen haritalama ve diğer veriler yine aynı ara yüz ile takip edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Mobil robot, otonom, görüntü işleme, motor sürücü, rf modül, telemetri.

INDOOR MOBILE ROBOT NAVIGATION AND CONTROL

ABSTRACT

Aim of this research is to develop hardware and software for a wheeled mobile robot(WMR) in order to improve the line following ability of it. Position feedback of the line following algorithm of WMR is developed using image processing techniques. Drivers of motors of the WMR are designed and produced in order to simplify to follow the velocity feedback data those are the outputs of the line following algorithm. Tasks of the WMR, mapping and other important data are sent to the robot via an interface.

Keywords: Mobile robot, image process, motor driver, telemetry, line follower.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
BÖLÜM-BİR GİRİŞ	1
1.1 Giriş	1
1.2 Mobil Robotlar	1
1.2.1 Sınıflandırma	1
1.2.2 Kontrol Şekilleri	2
1.2.3 Dünyada Yapılan Mobil Robot Çalışmaları	2
BÖLÜM-İKİ METODOLOJİ	4
2.1 Haberleşme	4
2.1.1. Balanslı ve Balanssız İletim Hatları	4
2.1.2 RS485 Katmanı.....	5
2.1.3 Modbus Protokolü	6
2.2 Scada Sistemleri	8
2.3 RF Haberleşme Modülleri	8
2.4 Çevre Birimleri.....	9
2.3.1 CMU Cam.....	9
2.5 Aktivatör.....	9
2.5.1 Non-Holonomic Hareket	10
BÖLÜM-ÜÇ DONANIMSAL SİSTEM TASARIMI.....	11
3.1 Yapısal Tasarım.....	11
3.1.1 Sistem	11
3.1.2 Mobil Robotun Kinematik Analizi	12

3.2 Motor Sürücü Tasarımı	13
3.2.1 Elektronik Tasarım	13
3.2.2 Sistem Modeli	18
3.2.3 Algoritma Tasarımı.....	21
3.3 CMU Cam Modülü Tasarımı	23
3.3.1 Elektronik Tasarım	23
3.3.2 Sistem Modeli.....	26
3.3.3 Algoritma Tasarımı.....	29
3.4 Telemetry Modülü Tasarımı.....	33
3.4.1 Elektronik Tasarım	33
3.4.2 Algoritma Tasarımı.....	34
BÖLÜM-DÖRT DENEYSEL ÇALIŞMALAR	35
4.1 Çalışma Ortamı.....	35
4.2 Ziegler–Nichols Metodu.....	36
4.3 Çizgi Takip Kabiliyeti	37
4.3.1 Oransal Etki	38
4.3.2 İntegral Etki	40
4.3.3 Diferansiyel Etki.....	41
4.4 Dönüş Kabiliyeti.....	42
BÖLÜM-BEŞ SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	43
5.1 Sonuç	43
5.2 Öneriler.....	43
KAYNAKLAR	44
EKLER	45
EK 1 DEVRE ŞEMALARI.....	45
1. Motor Sürücü.....	45
2. CMU Modülü	48
3. Telemetry Modülü.....	50

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Spider-Bot	3
Şekil 1.2 TALON Small Mobile Robot	3
Şekil 2.1 Balanssız bilgi iletimi yapısı (Park, Mackay ve Wright (2003))	4
Şekil 2.2 Balanslı bilgi iletimi yapısı (Park, Mackay ve Wright (2003))	5
Şekil 2.3 Maksim firmasının RS485 bağlantısı için ürettiği MAX485 çipinin bağlantı şeması(Maksim (1996))......	5
Şekil 2.4 RS485 fiziksel yapısı ile birden fazla cihazın bağlama şekli (Maksim (1996))......	6
Şekil 3.1 Robotun bağlantı şeması	11
Şekil 3.2 Mobil robotun sağ ve sol tekerlek hızları. (Gören (2007))	12
Şekil 3.3 Motor sürücünün donanımsal yapısı	14
Şekil 3.4 Referans girişinin elektronik şeması.....	14
Şekil 3.5 Giriş çıkış pinleri elektronik şeması	15
Şekil 3.6 Enkoder girişi elektronik şeması.....	15
Şekil 3.7 Voltaj regülatörü elektronik şeması	16
Şekil 3.8 Denetleyici elektronik şeması	16
Şekil 3.9 Güç katı elektronik şeması.....	17
Şekil 3.10 Motor sürücü sistem modeli.....	18
Şekil 3.11 Armatür denetimli doğru akım motoru	19
Şekil 3.12 Enkoder ölçüleri.....	20
Şekil 3.13 Kontrolcü şeması	21
Şekil 3.14 Motor sürücü algoritma tasarımı.....	22
Şekil 3.15 CMU Cam modülünün donanımsal yapısı.....	23
Şekil 3.16 CMU Cam modülü voltaj regülatörü	24
Şekil 3.17 CMU Cam modülü denetleyicinin pin girişleri.	25
Şekil 3.18 CMU Cam pin diyagramı.....	25
Şekil 3.19 Motor sürücü sistem modeli.....	26
Şekil 3.20 CMU Cam ölçüm görüntüsü.....	28
Şekil 3.21 CMU Cam Modül algoritma tasarımı	30
Şekil 3.22 Sürüş Algoritması	31
Şekil 3.23 RF Modülün donanımsal yapısı	33

Şekil 4.1 Mobil robotun deney ortamı 1	35
Şekil 4.2 Mobil robotun deney ortamı 2	35
Şekil 4.3 Mobil robotun deney ortamı 3	36
Şekil 4.4 Ziegler–Nichols Metodu salınım grafiği.....	36
Şekil 4.5 Ziegler–Nichols Metodu için oluşturulan deney düzeneği	37
Şekil 4.6 Basamak girdi için oluşturulan test düzeneği	38
Şekil 4.7 Sistemin beklenen davranışı.	39
Şekil 4.8 Sistemin K_p değişimi için ölçülen davranışı	39
Şekil 4.9 Sistemin beklenen davranışı.	40
Şekil 4.10 Sistemin K_i değişimi için ölçülen davranışı.....	40
Şekil 4.11 Sistemin beklenen davranışı.	41
Şekil 4.12 Sistemin K_D değişimi için ölçülen davranışı	41
Şekil 4.13 Deney 3 düzeneğinin ölçüm sonuçları	42
Şekil 4.14 Oluşturulan deney düzeneği.....	42
Şekil Ek 1 Motor sürücü devresi mikro denetleyici bloğu.....	45
Şekil Ek 2 Motor sürücü devresi voltaj regülatörü bloğu	46
Şekil Ek 3 Motor sürücü devresi giriş-çıkış bloğu.....	47
Şekil Ek 4 Motor sürücü devresi güç bloğu	47
Şekil Ek 5 CMU Cam devresi mikro denetleyici bloğu.....	48
Şekil Ek 6 CMU Cam devresi voltaj regülatörü bloğu	48
Şekil Ek 7 CMU Cam devresi RS485 haberleşme bloğu.....	49
Şekil Ek 8 CMU Cam devresi giriş-çıkış bloğu.....	49
Şekil Ek 9 Telemetri modülü mikro denetleyici bloğu	50
Şekil Ek 10 Telemetri modülü NRF24L01 bloğu	50
Şekil Ek 11 Telemetri modülü voltaj regülatörü bloğu.....	51
Şekil Ek 12 Telemetri modülü RS485 haberleşme bloğu	51

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Modbus paket yapısı.....	7
Tablo 2.2 fonksiyon 03 gönderim paketi örneği (Reynders, Mackay, Wright, Mackay, (2004)).....	7
Tablo 2.3 fonksiyon 06 gönderim paketi örneği (Reynders, Mackay, Wright, Mackay, (2004)).....	8
Tablo 3.1 Modbus register tablosu.....	32
Tablo 3.2 Tablo Durum kodlarının tanımı	33

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Giriş

Proje, kendi kendine bulunduğu konumu ve yön tayinini belirleyebilen, bu verilerle istenilen hareketi gerçekleştirebilen bir mobil robot projesidir. Motor sürücü devresi, sensörleri, telemetrisi ve ara yüzü bu proje için yeniden tasarlanması amaçlanmıştır.

Fiziksel özellikleri mekan içerisinde veya uygun zemin yapısında çalışacak şekilde oluşturulmuştur. Tele operatör teknikleri ile kumanda edilip görev bilgileri ve değişkenlerin iletimi kablosuz olarak gerçekleştirilebilmektedir.

Konum ve yön tayinini kamera ve görüntü işleme teknikleri ile desteklenmiş çizgi takibi algoritması ile yapması hedeflenmiştir. Bu haritalama metodu ile uzaktan erişim sayesinde verilen görevi otonom bir şekilde yerine getirebilmesi sağlanmıştır.

1.2 Mobil Robotlar

Mobil robotlar kendi yaşam çevrelerinde hareket edebilen ve bir yere bağlı olmayan robotlardır. Örneğin endüstriyel robotlar genelde bir yere sabitlenip tutucuları ile belirlenmiş çalışma alanlarında işlerini yapar. Mobil robotlar ise bir yere sabitlenmek yerine genelde çevre ve koşullar tarafından sınırlandırılırlar. Bu da mobil robotların günlük hayata kullanıma daha uygun olduğu anlamına gelir.

1.2.1 Sınıflandırma

Mobil robotlar bir çok şekilde sınıflandırılabilir. Bulardan bazıları :

Çalıştıkları çevre koşullarına göre (Park, 2012):

- Arazi yada ev robotları , Genellikle tekerlekli olmakla birlikte İki yada daha fazla ayaklı robotlar da bu sınıfa girer.
- Hava robotları , genellikle insansız hava araçları olarak bilinirler.

- Su Altı Robotları, genellikle otonom su altı araçları olarak bilinirler. Hareket etmek için kullandıkları uzuvlara göre:

- Ayaklı robotlar canlılardan esinlenerek tasarlanırlar.
- Tekerlekli robotlar
- Paletli robotlar

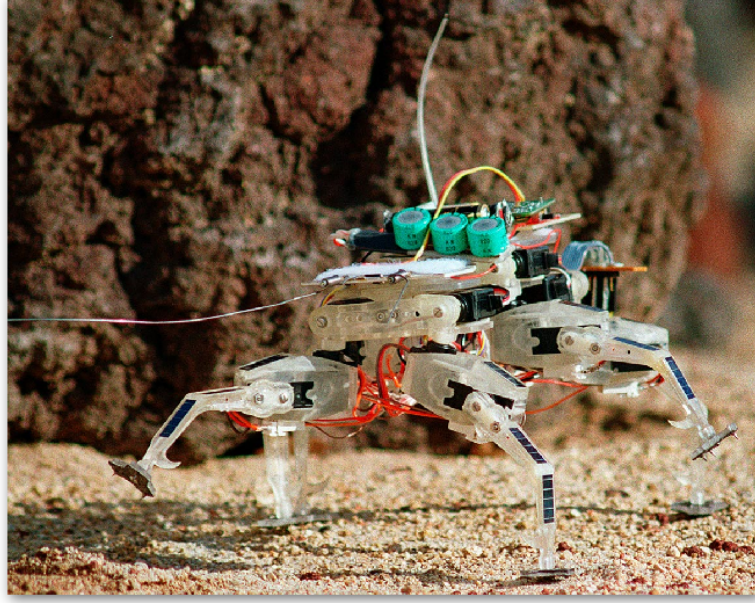
1.2.2 Kontrol Şekilleri

- MANUEL KONTROL : Bir joystick yardımı ile operatör tarafından yapılan bir kontroldür.
- KONROLLÜ MANUEL KONTROL : Kontrolü operatör tarafından yapılmasına rağmen belirli engelleri ve koşulları robot kendi tölere eder.
- ÇİZGİ İZLİYEN ROBOT : hareketleri önceden, çoğunlukla yere çizilmiş çizgi şeklinde belirlenmiş kontrol şekli.
- RASLANTISAL OTONOM ROBOT : Rastlantısal olarak yörüngesini cisimlere ve duvarlara göre belirleyen robotlardır. Temizlik robotları buna örnektir.
- OTOMATİK YÖNLENDİRİLMİŞ ROBOT: Gidecekleri yörünge hakkında bilgileri olan ve yörüngelerini pozisyon sensörleri ile yerine getirebilen robotlardır (Maaref, 2002).

1.2.3 Dünyada Yapılan Mobil Robot Çalışmaları

Spider-bot, NASA'nın Calif Pasadena Jet Propulsion Laboratuvarlarında araştırmacıların yarattığı "spider-bot" isimli oldukça ufak yapılı bir mobill robottur^[1]. Uzayda ufak asteroitlerin üzerinde veya ayda görev yapabileceğini düşündükleri bir çalışmadır. Bu çalışmadan uzak bir çalışma olmasına rağmen mobil robotlar içerisinde iyi ve farklı bir çalışma olması nedeni ile örnekler arasına eklenmiştir. Bu çalışmada temel olarak, ayırık iki arka tekerlekten tahrikli bir gezgin robotun görsel geri beslemeye dayalı PID kontrolcü tasarımı üzerinde durulacaktır. Benzer bir

Çalışma olarak Normey-Rico ve arkadaşları tarafından 2001 yılında yapılan çalışma incelenebilir.



şekil 1.1 Spider-Bot



şekil 1.2 TALON small mobile robot

Askeri amaçla kullanılan ‘‘TALON Small Mobile Robot’’ mobil robot sınıfının arazi koşullarına en uygun örneklerinden biri. Birçok asgari operasyonda mayın ve bomba imha işlerinde yardımcı olmuş bir mobil robottur.

BÖLÜM İKİ METODOLOJİ

2.1 Haberleşme

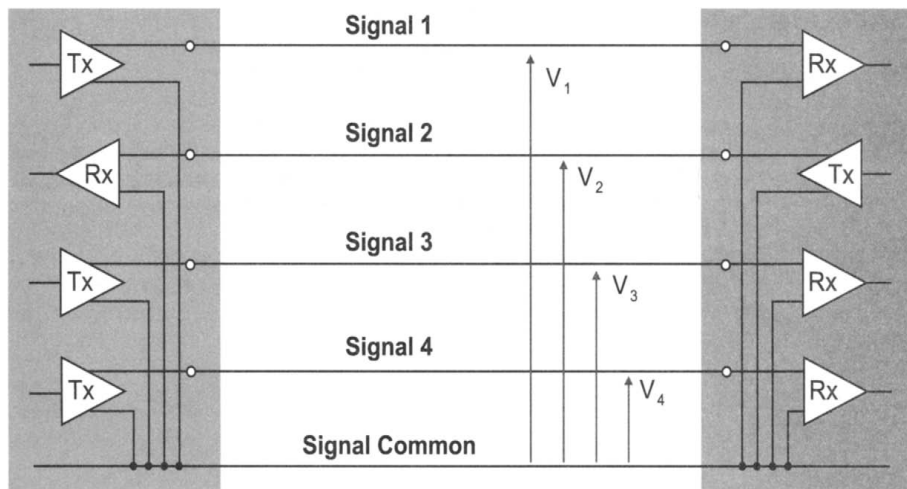
Modüller arasında yapılan bilgi alışverişi haberleşme olarak adlandırılır. Fiziksel katman ve yazılımsal katman olarak iki ayrı seçimin aynı olmasıyla haberleşme gerçekleşir.

Fiziksel katman elektriksel büyüklüklerin gerçekleştiği katmandır. Temelde herhangi iki elektriksel büyüklüğün farkından kaynaklanan veriparacıkları yani bitler üzerine kurulur. Bizim üzerinde duracağımız fiziksel katmanlar seri iletişim yapan katmanlardır.

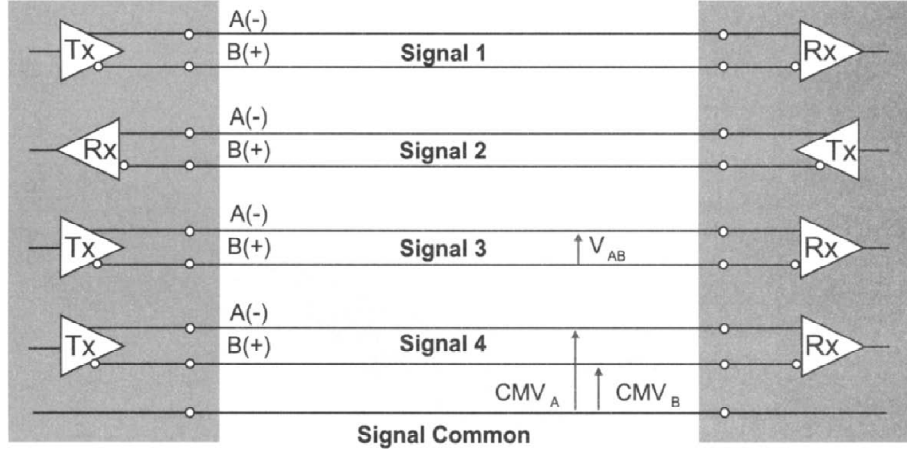
Bu katmanlar arasında bilgi paketleri belirli şekillerde standartlaştırılmıştır. Bu paketler haberleşme hatalarını gidermek ve birden fazla cihaz ile aynı anda bağlanabilmek gibi bazı özellikleri içeren algoritmalar dizisidir.

2.1.1 Balanslı ve Balanssız İletim Hatları

Balanssız iletimler (Şekil 2.1) ortak bir “Common” hattı üzerinden diğer iletişimlerini sağlar. Bunun yanında balanslı iletimde (Şekil 2.2) iki elektriksel büyüklük her hat için ayrı taşınır.



Şekil 2.1 Balanssız bilgi iletimi yapısı (Park, Mackay ve Wright (2003))



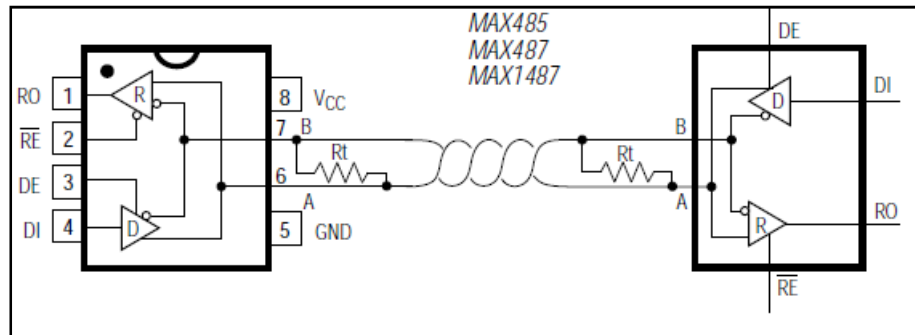
Şekil 2.2 Balanslı bilgi iletimi yapısı (Park, Mackay ve Wright (2003))

Bu iki yapıdan balanslı sistemler uzun mesafelere veri iletimi yapabilme becerileri yüksektir. Bunun yanında her kanal için kablo yapısı maliyeti artırıcı bir etkidir. Balanssız sistemlerde kısa mesafelerde veri iletiminde kolay ve pratik bir yoldur.

Balanssız sistemlere örnek olarak RS232, balanslı sistemlere örnek olarak RS485 fiziksel iletim hatlarını örnek gösterebiliriz. İkisi de çok kullanılan, avantajları ve dezavantajları yukarıdaki bildirimeye uyan sistemlerdir.

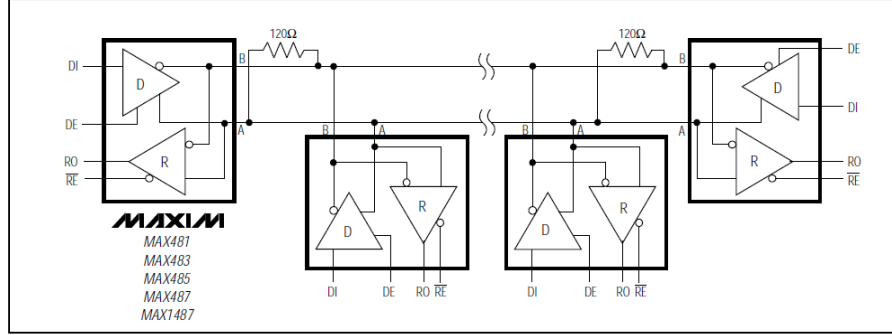
Sistem seçimimizde bu avantajlar ve alışkanlıklar ışığında RS485 katmanı kullanılması uygun görülmüştür. Kullanılan tüm kablolu modüller birbiriyle bu katman üzerinden haberleşecektir.

2.1.2 RS485 Katmanı



Şekil 2.3 Maksim firmasının ürettiği MAX485 çipinin bağlantı şeması (Makim (1996)).

Katman seçilme nedeni iki adet kablo bağlantısı ile hem paket gönderimi hem de alımı yapılabilmesidir (Şekil 2.3). Bununla birlikte aynı hat üzerine birbirine paralel birden fazla cihaz yerleştirilebilir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 RS485 birden fazla cihazın bağlama şekli (Maxim (1996)).

Bu avantajlarının yanında bağlantı tipinin verdiği bazı dezavantajlar da vardır. Bunların başında veri iletimi ve alımı aynı anda olamaz. Çünkü yapısı gereği port sadece ya veri iletebilir ya da alabilir. Bunun yanında tüm cihazlar aynı hattı dinleyebilir yalnız anda veri iletemez. Veri iletimi sıralı bir şekilde yapılmalıdır.

Bu avantajları kullanmak ve dezavantajların sorunlarını giderebilmek için bu bazı kurallara ihtiyaç duyulmaktadır. Bunların hepsinin düzenlendiği kurallar dizisi protokolleri oluşturur. Bizim RS485 haberleşmelerimizde MODBUS protokolü kullanmayı uygun bulduk.

2.1.3 Modbus Protokolü

Modbus bir çok fiziksel katmana uygulanabileceği gibi bizim kullanacağımız seri hat olan RS485 katmanında oldukça yaygın kullanılan bir protokoldür. RS485 katmanında hızı 9600 bps den 115200 bps ye kadar uygulanabilir.

Genel olarak RTU ve ASCII olarak 2 tipi vardır. RTU data paketlerini daha kısa tutarak verileri gerçek değerinde gönderir. Bunun yanında ASCII kullanıcının daha rahat takip edebilmesi için verileri kullanıcının okumasının kolay olduğu ASCII karakterlerinde gönderir. Örneğin 100 sayısını RTU için oluşturulmuş hali tek byte "0x64" (Gösterim 16lık sayı sistemindedir) olarak gönderilirken, ASCII için üç byte

“100” şeklinde metin bilgisi olarak gönderilir. Biz kullanım olarak RTU'yu seçtiğimiz için anlatım bunun üzerinden devam edecektir.

Tip seçiminden sonra protokol ağ üzerinde sadece 1 tane MASTER modül olması şartını arar. Bu durum sağlandıktan sonra hepsi farklı olarak adreslenmiş 254 kadar SLAVE modül eklenilebilir.

Master modül tüm slave modüllerle tek tek iletişime geçer. Böylelikle ihtiyacı olan bilgiyi onlardan edinmiş veya göndermiş olur. Belirli bir döngüde haberleşme bu şekilde devam eder.

Haberleşme paketi (Tablo 2.1) her fonksiyon için aynı yapıdadır. Pakette ilk olarak ilgili birimin adres bilgisi gönderilir. Daha sonra istenilen bilginin yapısını bildiren fonksiyon kodu gönderilir. Bilgi yapısı eklendikten sonra paketin doğruluğunu ölçen CRC kodu denilen hata kodu gönderilir.

Tablo 2.1 Modbus paket yapısı.

Adres Bilgisi	Fonksiyon Kodu	Bilgi	Hata Kontrolü
---------------	----------------	-------	---------------

Tablo 2.2 fonksiyon 03 gönderim paketi örneği (Reynders, Mackay, Wright, Mackay, (2004))

Master Gönderimi				
Adres Bilgisi	Fonksiyon Kodu	Register Başlangıç	Bilgi Uzunluğu	Hata Kontrolü
0x01	0x03	0x00,0x02	0x00,0x01	0x25,0xCA
Slave Cevabı				
Adres Bilgisi	Fonksiyon Kodu	Byte Uzunluğu	Register Bilgisi	Hata Kontrolü
0x01	0x03	0x00,0x02	0x07,0xFF	0xFA,0x34

Fonksiyon kodu çok çeşitli olmasına rağmen biz ikisini kullanacağız. Bunlar 03 register okuma (Tablo 1.2) , 06 register yazma (Tablo 1.3) kodudur. Örneklerdeki örnekte master 2. Registerdeki 16 bitlik veriyi öğrenmek istemiştir. Buna karşılık slave ona o bilgiyi döndürmüştür. İkinci örnekte 2. Registera 16 bitlik veri yazmak istenmiş slave yazıldığını raporlamıştır.

Tablo 2.3 fonksiyon 06 gönderim paketi örneği (Reynders, Mackay, Wright, Mackay, (2004))

Master Gönderimi				
Adres Bilgisi	Fonksiyon Kodu	Register Id	Yazılacak Bilgi	Hata Kontrolü
0x01	0x06	0x00,0x02	0x0C,0x00	0x2D,0x0A
Slave Cevabı				
Adres Bilgisi	Fonksiyon Kodu	Register Id	Yazılacak Bilgi	Hata Kontrolü
0x01	0x06	0x00,0x02	0x0C,0x00	0x2D,0x0A

2.2 Scada Sistemleri

Literatürde "Supervisory Control and Data Acquisition" olarak ifade edilen "SCADA", dilimize "Danışmalı Kontrol ve Veri Toplama Sistemi" olarak çevrilebilir. SCADA sistemi otomasyon sistemleri tarafından kullanılmak üzere tasarlanmış bir gerçek zamanda (Real Time) gözetleme, çok işlevli merkezi denetim ve bilgi toplama sistemidir.

SCADA sistemi, grafik kullanıcı ara yüzleri, yerel denetim desteği sağlayan araçlar, dağıtılmış uygulamaların entegrasyonu ile bilginin işlenmesi görevini üstlenir. SCADA işletme genelinde herkese, her yerde her zaman kâğıt kullanmadan gerçek zamanlı, doğru ve detaylı bilgi sağlamakla görevlidir. SCADA Sistemlerinin; İzleme, Kontrol İşlevleri, Veri Toplama, Verilerin Kaydı ve Saklanması gibi işlevleri mevcuttur.

2.3 RF Haberleşme Modülleri

Radyo frekanslarını kullanarak bilgiyi kablosuz olarak iletebilen modüllerdir. Alıcı tipli olana reciver, gönderici tipli olana transmitter, hem alıcı hem gönderici tipinde olan da transiver şeklinde isimlendirilmiştir.

Projemizde scada sistemi ve robot arasında çift yönlü bilgi geçişi olacağı için transiver modülü olarak nRF24L01 kodlu 2.4Ghz haberleşme modülünü kullandık. Bu modül ile açık havada 100 metreye kadar haberleşme imkanı sağladık.

2.4 Çevre Birimleri

Mobil robotların çevre ile olan etkileşimlerini ölçebildiği birimlerdir. Optik sensörler, ultrasonik sensörler, touch sensörler ...vb. örnek gösterilebilir.

2.3.1 CMU Cam

Optik olarak ölçüm yapmak çevre koşullarından uygun şekilde istenilen bilgiyi alarak mümkün olabilir. Örneğin ışık şiddetinden mesafe tayini yapmak için çevrenin değişken ışık değerlerinin bu hesaplamanın dışında tutulması gereklidir. Her bir sensör için alınacak bilgiye ve sensör yapısına ayrıştırma işlemleri gereklidir.

CMU Cam bir kameradan ve bu kameradan gelen bilgileri belirli resim işlem metotlarından geçiren işlemciden oluşmaktadır. Girilen işlem parametrelerine göre sonuç bilgisini maksimum 17 fps içerisinde geri döndürmektedir.

Kamera bilgisinin orijinal verisini vermek yanında daha uygulamaya yönelik bilgiler veren resim işlem metotları mevcuttur. Bunlardan bazı örnekler vermek gerekirse:

Renk Takibi: Kamera görüntüsü üzerinde istenilen rengin merkez konumunu, genişliğini ve yüzde yoğunluğunu döndürebilir. Böylelikle örnek olarak en basit uygulamada kırmızı topu takip edebilirsiniz.

Hareket Algılama: Kamera görüntüsündeki değişim oranını döndürür.

Histogram Çıkarma: Kamera Görüntüsünün histogram bilgisini döndürebilir.

2.5 Aktivatör

Mobil robotun hareketini sağlayan donanımdır. Herhangi depolanmış enerjiyi kinetik enerjiye dönüştüren araçlardır. Robot için en yaygın kullanım elektrik motorlarıdır. Bu motorların kontrolü kolay ve aynı zamanda edinmesi kolay olduğu için robot tasarımları elektrik motorları baz alınarak yapılır.

2.5.1 Non-Holonomic Hareket

Bu hareket tarzı robotlara dar alanlarda maksimum hareket kapasitesi kazandıran bir yönlendirme mekanizmasıdır. Bu hareket kapasitesinin yanında tekrar aynı stabil duruma döneceğinden emin olamazsınız. Bu robotun yüksek hızlarda stabil hareketini zorlaştırır. Kontrolcü tasarımını zorlaştırabilir. Düşük hızlarda ise hareket serbestliği sağlar.

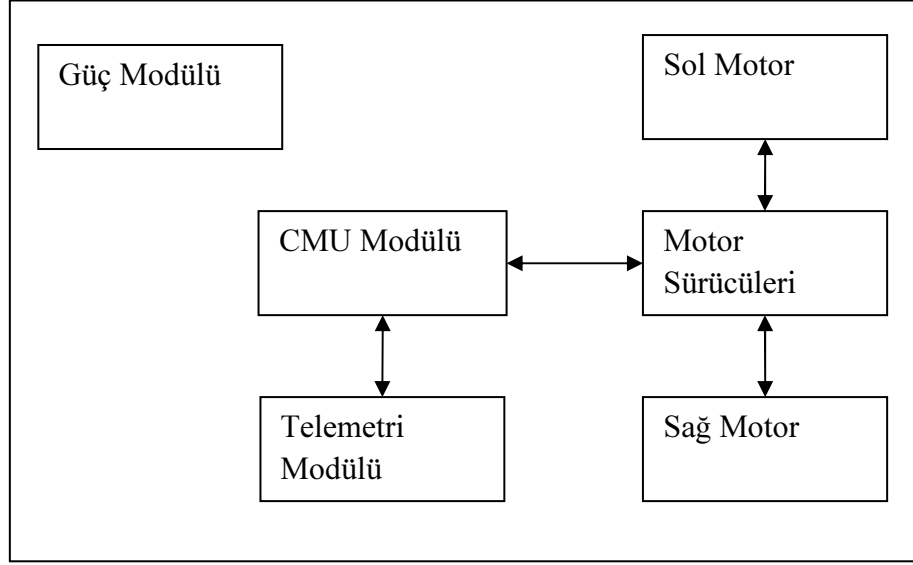
Avantaj ve dezavantajları göz önüne alındığında mobil robotlarda çok yaygın bir kullanılan bir metodudur. Aktivatör iki ayrı tekerlekte birbirinden bağımsız olarak yer alır. Diğer tekerlekler avare olara ayarlanır. Bu iki tekerlek arasındaki hız farkı motorun dönüşünü sağlar. Eşit olması durumunda ise ileri veya geri yönlü hareket vermiş olur. Görüldüğü üzere dümdüz bir hat üzerinde gitmesi sadece kontrol algoritmaları ile mümkün olabilir. Çünkü mekanik büyüklüklerden kaynaklanan hız farkları aracın düz gitmesine her zaman muhalefet olacaktır. (Batlle, 2009; Barfoot, 2004)

BÖLÜM ÜÇ

DONANIMSAL SİSTEM TASARIMI

3.1 Yapısal Tasarım

3.1.1 Sistem



Şekil 1.1 Robotun bağlantı şeması

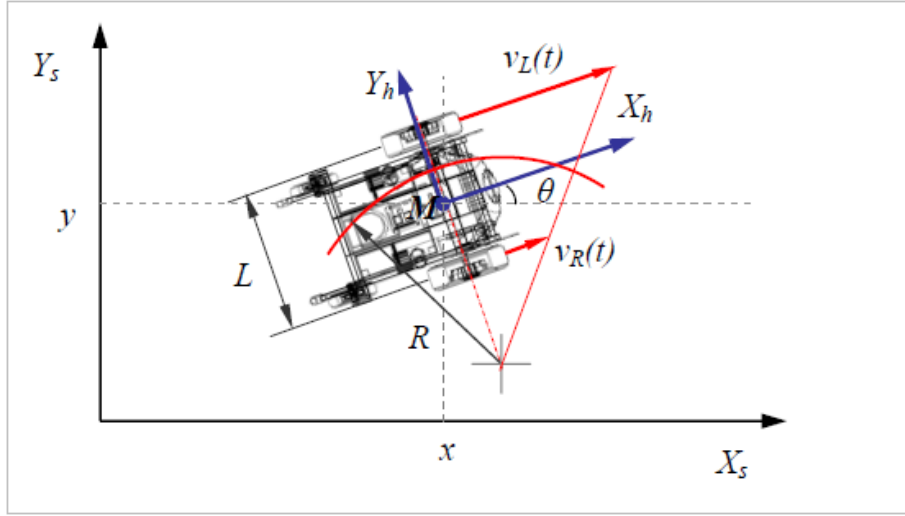
Güç Modülü: Sistem voltajı 12V tur. Acil durumlar için kapatma düğmesi be bağlantılar için klamensler mevcuttur.

Motor Sürücüler: Motorlardan hız geri beslemesi olarak gelen referans hız bilgisiyle aynı tutmaya çalışan modül.

CMU Cam Modülü: Çizgi takibi sırasında kamera görüntüsünü işleyerek, çizgi koordinatlarını çıran ve motor sürücülerine referans bilgilerini gönderen modül.

Telemetri Modülü: Sistem bilgilerini scada yazılımına kablosuz olarak aktaran veya edinen modül.

3.1.2 Mobil Robotun Kinematik Analizi



Şekil 3.2 Mobil robotun sağ ve sol tekerlek hızları. (Gören (2007))

Gören (2007) Hareket dinamiğini şu şekilde tanımlamış:

r : Tekerleğin dinamik yarıçapı [m].

L : Ön iki tekerleğin ortalarının arasındaki mesafe [m].

v : Mobil robotun çizgisel hızı [m/s].

$v_R(t)$: Sağ tekerleğin çizgisel hızı [m/s].

$v_L(t)$: Sol tekerleğin çizgisel hızı [m/s].

θ : Robotun açısı [rad].

$w(t)$: Mobil robotun açısal hızı [rad/s].

$\{X_h, Y_h\}$: Hareketli koordinat sistemi.

$\{X_s, Y_s\}$: Sabit koordinat sistemi.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{y}(t) \\ \dot{\theta}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta(t) & 0 \\ \sin \theta(t) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v(t) \\ w(t) \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$$\dot{y} \cos \theta - \dot{x} \sin \theta = 0 \quad (3.2)$$

$$\begin{bmatrix} V_x(t) \\ V_y(t) \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(\frac{r}{2}\right) & \left(\frac{r}{2}\right) \\ 0 & 0 \\ -\left(\frac{r}{L}\right) & \left(\frac{r}{L}\right) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_L \\ w_R \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

$$\kappa(s) = r(s)^{-1} \quad (3.4)$$

$$v_L = v \left(1 - \frac{L \cdot \kappa(s)}{2} \right) \quad (3.5)$$

$$v_R = v \left(1 + \frac{L \cdot \kappa(s)}{2} \right) \quad (3.6)$$

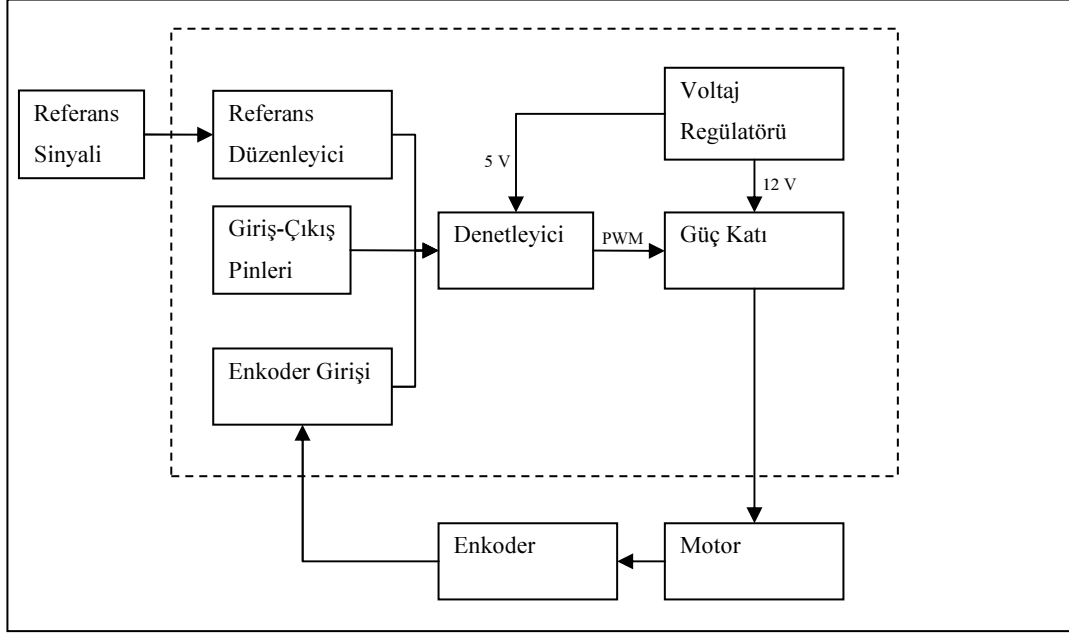
$$v_R = v \frac{r(s) + \frac{L}{2}}{r(s)} \quad (3.7)$$

3.2 Motor Sürücü Tasarımı

Robotun hareketini sağlayan aktivatörler motorlardan oluştuğu için bu motorların hareketlerinin istenilen profile uymasını sağlamak gereklidir. Bu hareket profilini oluştururken hızlanma ve yavaşlama profilleri esas alınır. Böylelikle robotun duruş, kalkış, çizgi takibi gibi hareketleri istenilen düzen içerisinde kalabilir. Bu düzen PID kontrolcü ile sağlanmıştır.

3.2.1 Elektronik Tasarım

Motor sürücüsü referans sinyal olarak 0-5V arasında bir analog sinyali ve motordan geri dönen enkoder sinyalini alır. Bu sinyalleri algoritmasında işleyerek güç katına yön ve PWM sinyali olarak güç katına gönderir. Motor bu güç girdisi ile bir davranış sergiler.

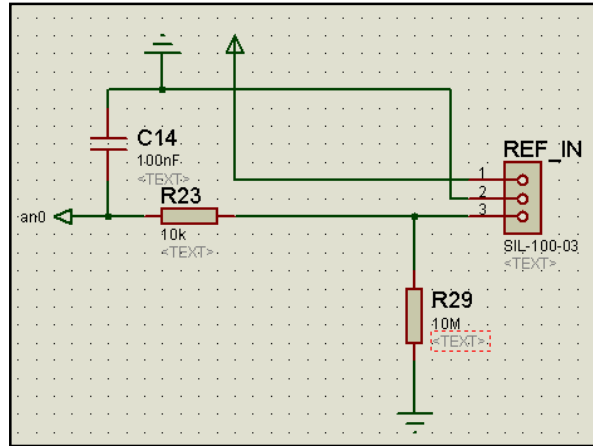


Şekil 3.3 Motor sürücünün donanımsal yapısı

Bu girdiler ve çıktılar için sürücü kartı bazı donanımlarla oluşturulmuştur (Şekil 3.3). Bunları kısaca tanımlarsak:

3.2.1.1 Referans Girişi

Motorun hız referansını belirleyen giriştir. 0-5V arasında çalışır.



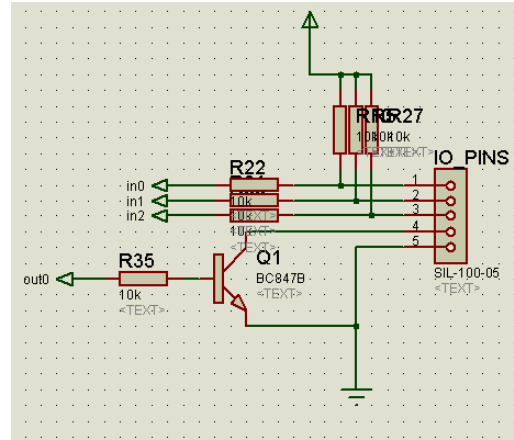
Şekil 3.4 Referans girişinin elektronik şeması

Mikro denetleyicinin analog girişine bağlıdır. 10K ohm pot bağlanabilecek şekilde üretilmiştir. Bununla birlikte PWM sinyalini analog olarak yorumlayabilmesi için bir

filtre de eklenmiştir. Böylelikle her hangi bir mikro denetleyici ile referans bağlantısı yapılabilinmesi sağlanır.

3.2.1.2 Giriş Çıkış Pinleri

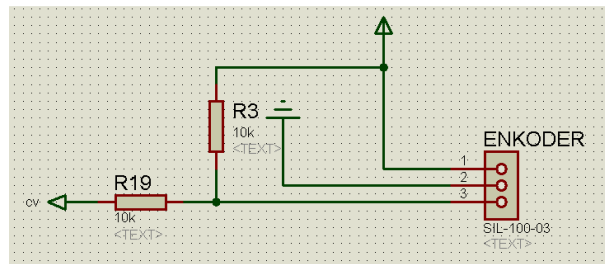
Kat üzerinde donanımsal olarak 3 giriş 1 çıkış pini düzenlenmiştir. Algoritmada istenilen görevler bu pinlere atanabilir.



Şekil 3.5 Giriş çıkış pinleri elektronik şeması

3.2.1.3 Enkoder Girişi

Motorun hız ve pozisyon bilgisini dijital olarak işlemciye bildiren donanımdır.

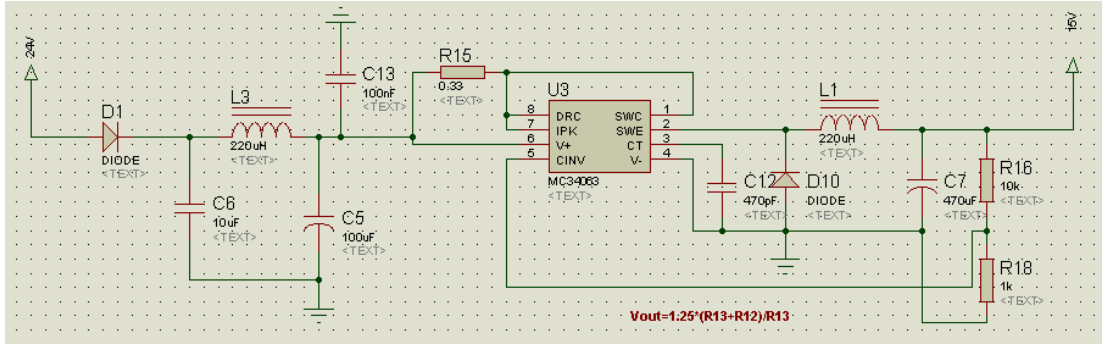


Şekil 3.6 Enkoder girişi elektronik şeması

Mikro denetleyicinin T0CKI girişine bağlıdır. Bu pin donanımsal olarak gelen pulseleri sayıp bir register da tutar. Hız ölçümü için belirli periyotta bu registeri okuyup sıfırlamak yeterlidir.

3.2.1.4 Voltaj Regülatörü

Sistem voltajını denetleyicinin çalışma voltajına ve güç katının besleme voltajına düşüren donanımdır. Mikro denetleyici için 5 V güç katı için 12-15V arası regüleli voltaj üretir.

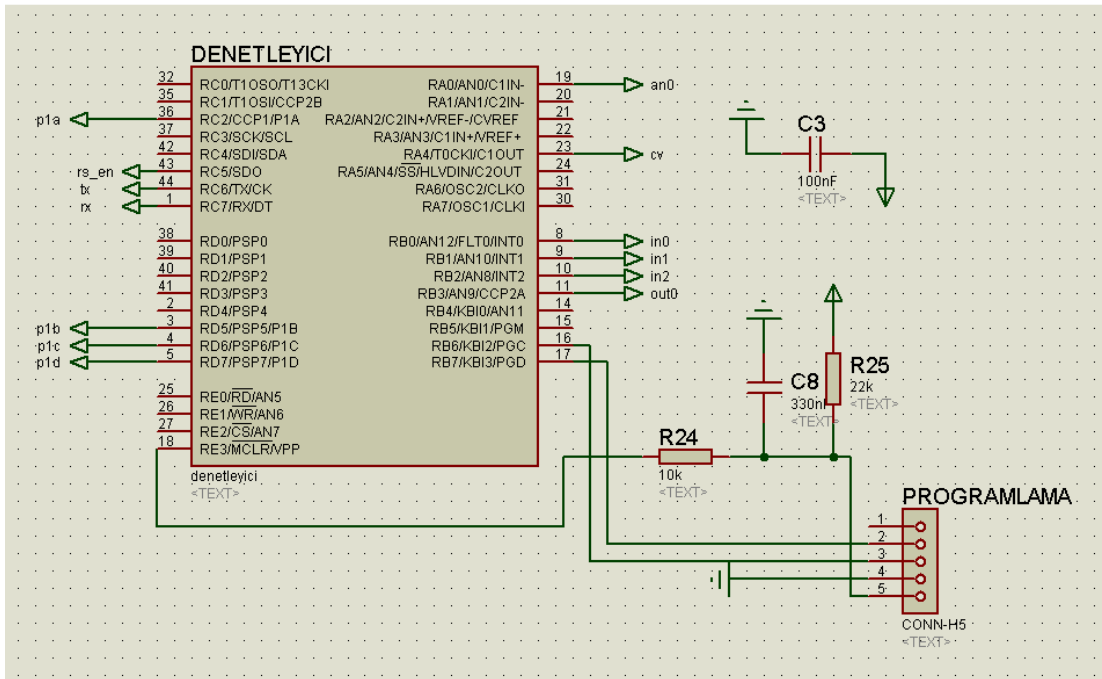


Şekil 3.7 Voltaj regülatörü elektronik şeması

3.2.1.5 Denetleyici

Mikrochip firmasının 18F4520 kodlu çipi kullanılmıştır. SMD komponent olarak seçildiği için programlama işlemleri için ICSP pinleri kullanılmaktadır.

Algoritma bu çipin içerisinde Hi-tech Picc ile derlenerek gönderilmiştir.

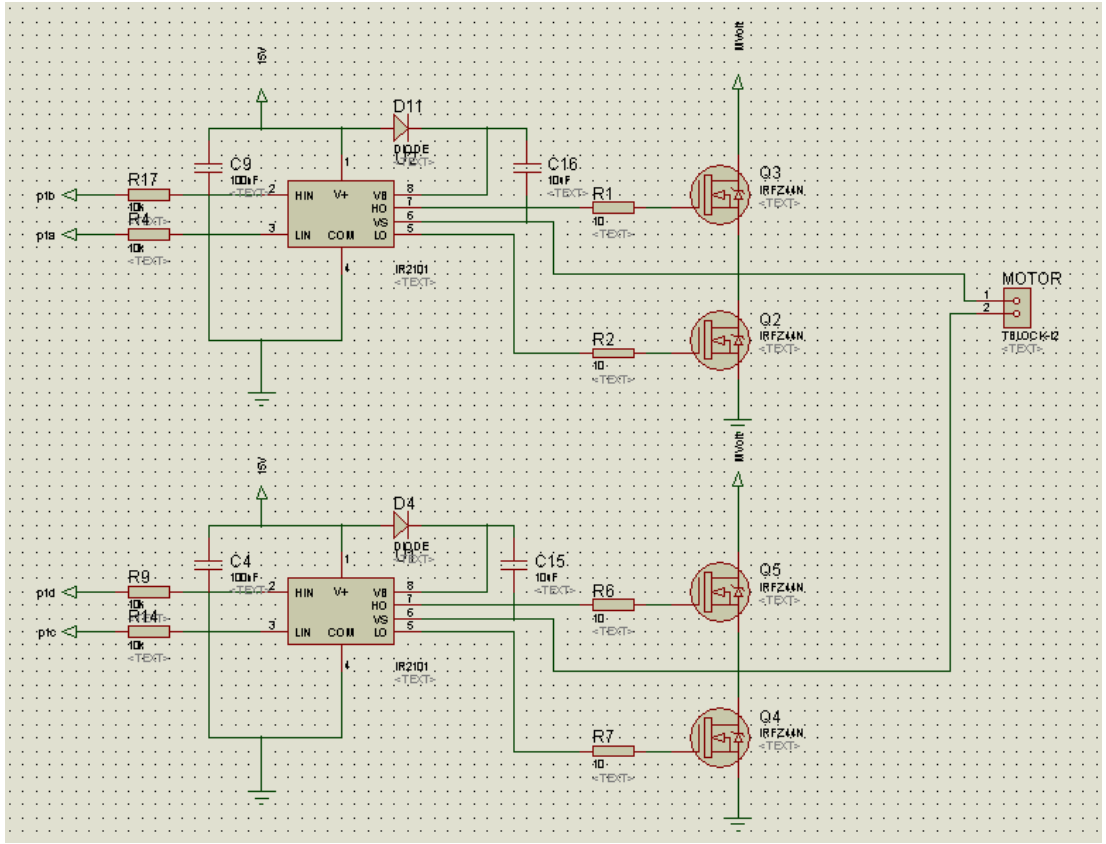


Şekil 3.8 Denetleyici elektronik şeması

3.2.1.6 Güç Katı

Full bridge yapısında motorun hareketini veren donanımdır. Mikroçipin oluşturduğu zayıf sinyalleri motoru tahrik edebilecek büyük güçlere çeviren sistemdir.

Bu sistemi sürebilmek için mikro denetleyicinin “ENHANCED PWM MODULE” donanımı kullanılmaktadır.



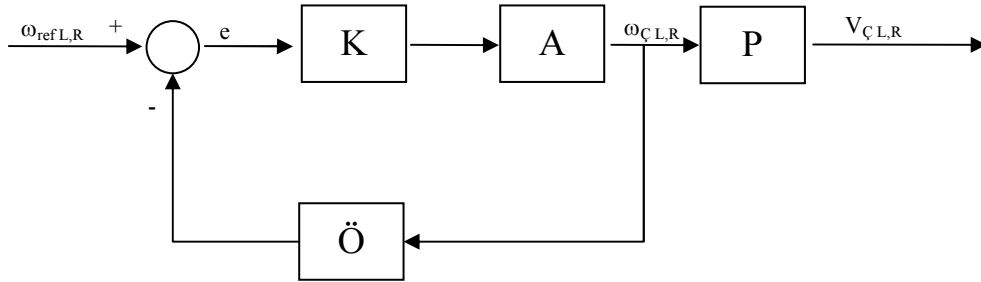
Şekil 3.9 Güç katı elektronik şeması

IRFZ44N olarak belirlediğimiz mosfet aynı zamanda diyot içerdiği için flyback diyotu bağlanmamıştır. Mosfet sürücüsü olarak IR2101 çipi kullanılmıştır.

3.2.2 Sistem Modeli

Sistemin işleyişini kısaca anlatacak olursak. Mikro denetleyici analog girişinden motorun hız referans bilgisi alınır. Daha sonra motorun gerçek açısal hız bilgisi enkoder tarafından okunarak referans değerden çıkartılır böylelikle hata bilgisi elde edilir. Hata bilgisi PID algoritmasına girer. Algoritma sonucu mikro denetleyicinin donanımından bir PWM çıkışı elde edilir. Bu PWM güç katı ile güçlendirilerek motorlara iletilir. Motor milinden enkoder vasıtası ile açısal hız bilgisi okunarak referans hızdan çıkartılır. Motorun bu dönüşü redüktör ve tekerlekten geçerek robotun sağ ve sol temas noktalarının hızlarını oluşturur.

Böylelikle motora, motor sürücüyeye gelen hız referansına uygun hareket profili verilmiş olur. Motor seçiminin ve çevresel koşul faktörleri bu algoritma sayesinde minimuma indirilir.



Şekil 3.10 Motor sürücü sistem modeli.

$\omega_{refL,R}$: Sağ yada sol tekerleğin açısal hız referans girişi.

$V_{ÇL,R}$: Sağ yada sol tekerleğin temas noktalarının çizgisel hız çıkışı.

K: Kontrolcü tasarımı.

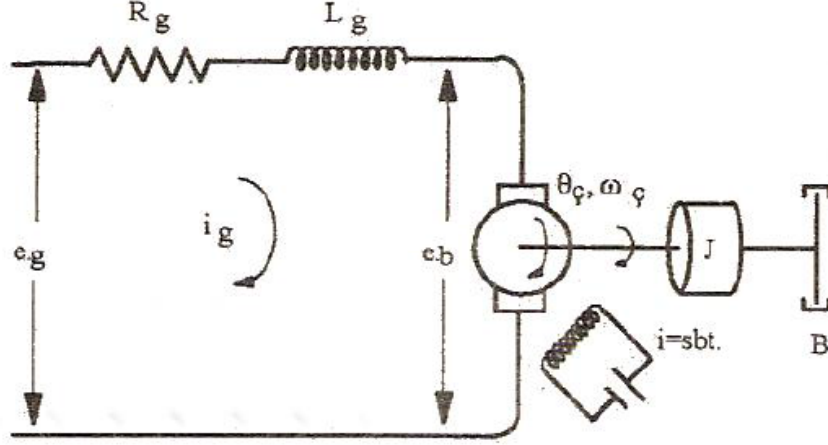
A: Kullanılan aktivatör.

P: Ölçümden sonraki redüktör,tekerlek... gibi mekanik aktarma elemanları.

Ö: Enkoder ile alınan ölçümün sabit çarpanı.

3.2.2.1 Aktivatör Modeli [A]

Aktivatör, model üzerinde hazır bulunan armatür denetimli doğru akım motorudur.



Şekil 3.11 Armatür denetimli doğru akım motoru

$$\frac{\omega_\phi(s)}{E_\phi(s)} = \frac{K_d}{L_g J s^2 + (L_g B + R_g J) s + R_g B + K_d K_b} \quad (3.8)$$

Armatür sargı indüktansı L_g küçük olduğundan yaklaşık 0 alabiliriz. Bu durumda $L_g=0$ için:

$$\frac{\omega_\phi(s)}{E_\phi(s)} = \frac{K_m}{s(T_m s + 1)} \quad (3.9)$$

$$T_m = \frac{R_g J}{R_g B + K_d K_b} \quad (3.10)$$

$$K_m = \frac{K_d}{R_g B + K_d K_b} \quad (3.11)$$

3.2.2.2 Aktarma Elemanları Dönüşümü [P]

Motor çıkışında redüktör ve tekerlek bulunmaktadır. Açısal hızı çizgisel hıza dönüştürmek için bu çarpan kullanılır.

$$\omega_c P = V_c \quad (3.12)$$

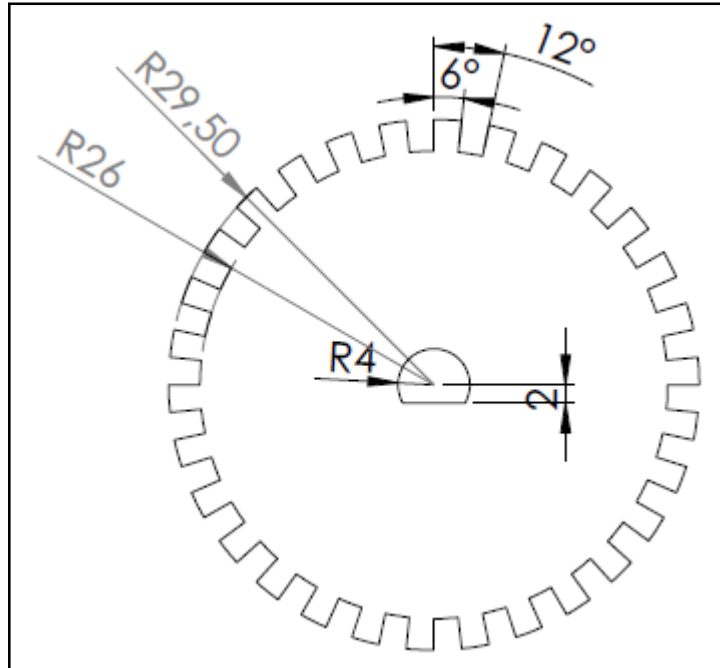
$$P = \frac{D_{tekerlek} \pi}{T_{redüktör}} \quad (3.13)$$

Bizim modelimizde $\varnothing_{tekerlek}=0.3m$, $T_{redüktör}=25$ olarak oluşturulmuştur. Bu durumda:

$$P = \frac{0.3\pi}{25} \quad (3.14)$$

3.2.2.3 Enkoder Çarpanı [Ö]

Tasarlanan enkoder motorun mil hareketini optik çift sensörleri ile elektriksel atımlara dönüştürür. Bu atımlar belirli bir zaman aralığında sayılarak motorun devir bilgisine ulaşılır.



Şekil 3.12 Enkoder ölçüleri

Ö enkoder çarpanı $n_{dis}=30$ için:

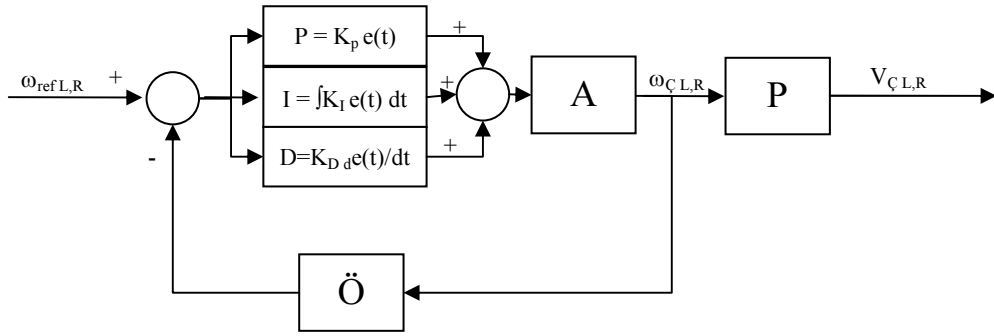
$$\ddot{\theta} = \frac{\pi}{n_{dis}} \quad (3.15)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{\pi}{30} \quad (3.16)$$

Şeklinde bulunur.

3.2.2.3 Kontrolcü Tasarımı [K]

Kontrolcü olarak PID kontrolcü seçimi uygun görülmüştür. PID parametreleri kullanıcı tarafından tepki süresine bakılarak deneme yanılma yöntemi ile belirlenmiştir.



Şekil 3.13 Kontrolcü şeması

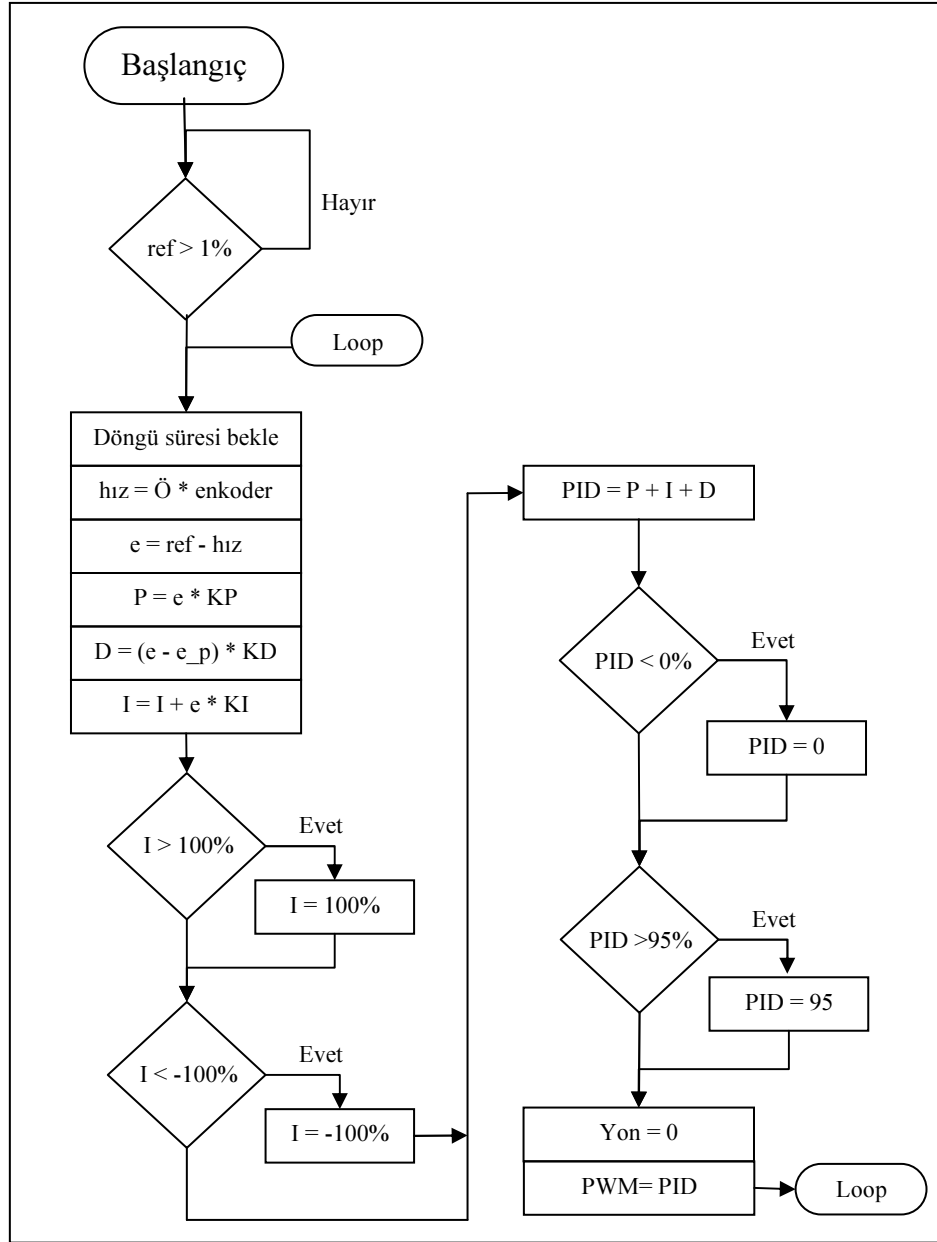
3.2.3 Algoritma Tasarımı

Kontrolcü ilk başlangıçta referans girdisinin “0” değer ile başlaması için hiçbir işlem yapmadan istenilen referansa gelmesini bekler. Böylelikle ilk çalıştırma anı yanlışlıklarının önüne geçilmiş olur.

Daha sonra “Loop” döngüsüne geçtiğinde belirli bir süre beklendikten sonra ilk olarak hız bilgisini yeniler. Ardından referans ile karşılaştırarak “e” hata değerini bulur. P,I,D değerlerini hata bilgisinden yola çıkarak oluşturur. I değerinin belirli bir değerin üstüne çıkıp fazla büyümesini engellemek için maksimum etki edebileceği sayılara limitlenir. PID değeri bu üç veri toplanarak bulunur.

PID'nin PWM sinyaline dönüşüne önce minimum ve maksimum limitlerin dahilinde olması sağlanır. Ardından PWM sinyali güncellenir. Bizim sistemimiz tek yönde çalışmak üzerine kurulduğu için yön bilgisi sabit tutulur. İşlemler bittiğinde tekrar “LOOP” döngüsünün başlangıcına geri döner.

Böylelikle motor sürücü istenilen hıza göre motorun dönüşünü sürekli bir biçimde düzenlemiş olur.

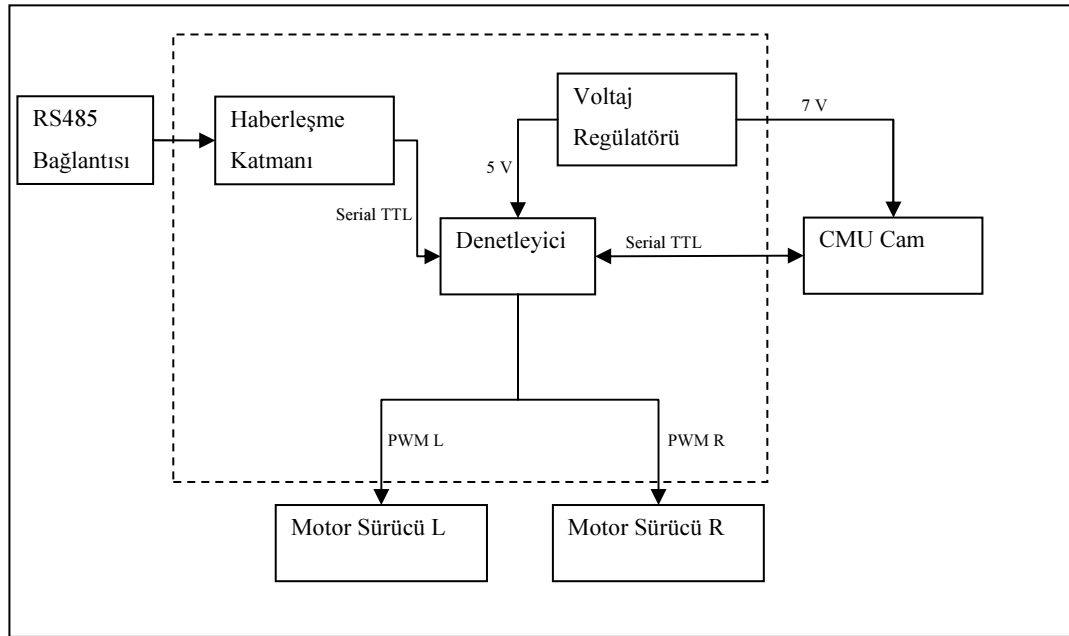


Şekil 3.14 Motor sürücü algoritma tasarımı

3.3 CMU Cam Modülü Tasarımı

CMU Cam ile haberleşmeyi sağlayan, ona başlangıç parametrelerini gönderip karşılığında gelen düzenli bilgiyi yorumlayan modüldür. CMU Cam donanımının ihtiyaç duyduğu enerji beslemesini ve haberleşme donanımını sağlar. Bunlarla birlikte motor sürücüleri için ref sinyal üretebilecek donanımı da içerir. Böylelikle sistemin kontrol algoritması bu modüle yazılarak robotun istenilen hareketi yapması sağlanır.

3.3.1 Elektronik Tasarım



Şekil 3.15 CMU Cam modülünün donanımsal yapısı

3.3.1.1 Haberleşme

RS485 fiziksel katmanı için hazırlanmış donanımdır. Bu katman için MAX485 çipi kullanılmıştır. Çip 485 fiziksel katmanını TTL haberleşme katmanına dönüştürür. Böylelikle denetleyici donanımı veriyi işleyebilir.

Gelen veri katman dönüşümünden sonra MODBUS RTU Protokolüne uygun cevap vererek haberleşme sağlanır.

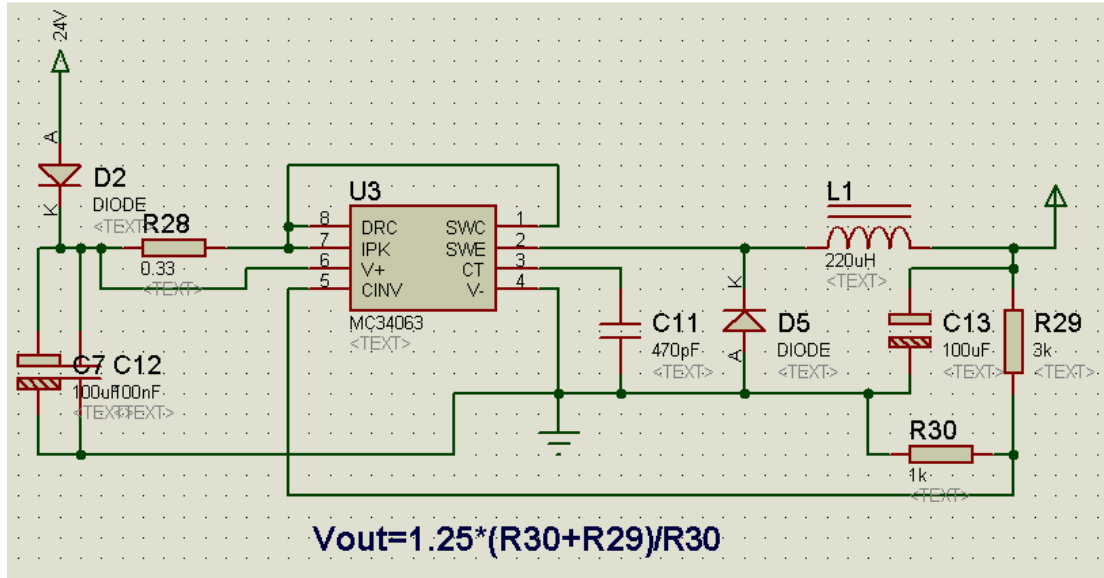
3.3.1.2 PWM Çıkışları

İşlenen algoritmanın sonucunu, motor sürücülerinin referansına girebilmek için denetleyicinin kullanılan donanımdır. Bu donanım sayesinde mikro denetleyici hız referansını yüzde olarak betimleyebilir. Böylelikle iki sistem arasında ilişki kurulmuş olur.

3.3.1.3 Voltaj Regülatörü

Sistem voltajını denetleyicinin çalışma voltajına ve CMU Cam modülünün besleme voltajına düşüren donanımdır. Denetleyici regüleli 5 V ile çalışmaktadır. Bunun yanında CMU Cam 7 – 12 V arasında bir voltaja ihtiyaç duymaktadır. Bu sebeple CMU Cam besleme voltajı 7V seçilmiştir.

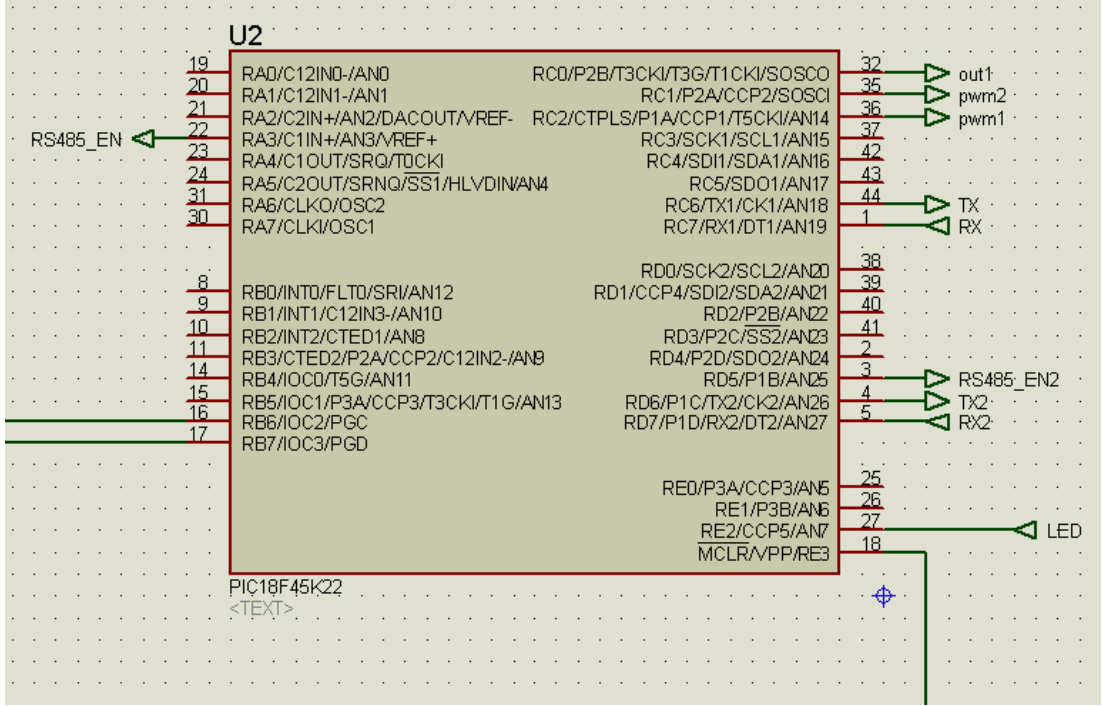
Her iki voltaj MC34063 (Şekil 3.16) çipi kullanılarak buck converter ile regüleli olarak sistem voltajından düşürülmüştür.



Şekil 3.16 CMU Cam modülü voltaj regülatörü

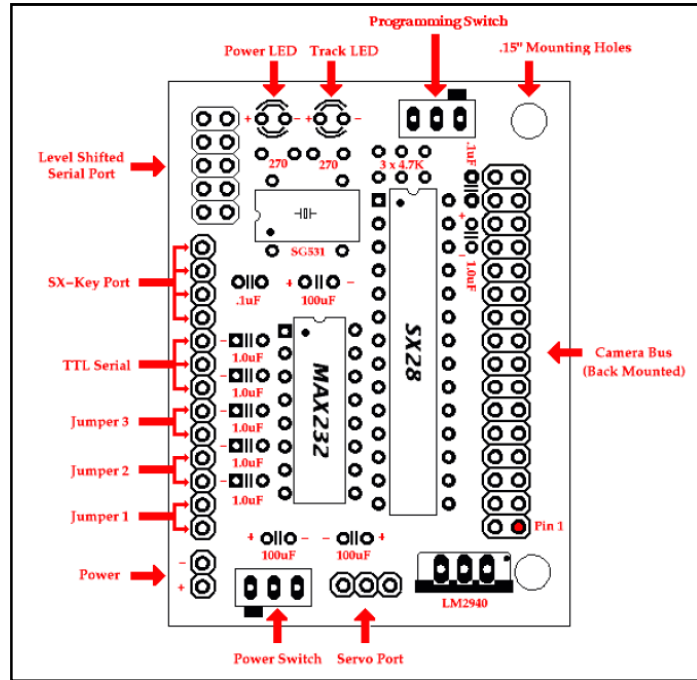
3.3.1.4 Denetleyici

Algoritmanın yazıldığı yorumlayıcı sistemdir. Mikrochip firmasının PIC18f45k22 (Şekil 3.17) modeli kullanılmıştır.



Şekil 3.17 CMU Cam modülü denetleyicinin pin girişleri.

3.3.1.5 CMU Cam



Şekil 3.18 CMU Cam pin diyagramı

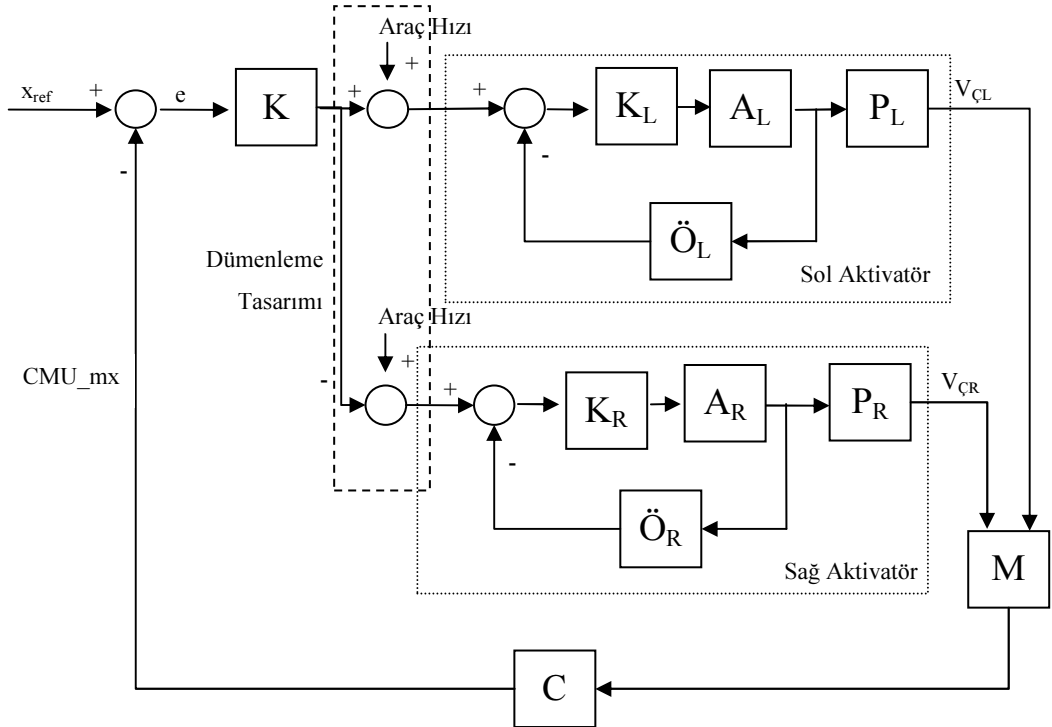
Görüntü işlemlerinin yapıldığı üzerinde kamerası olan hazır alınan bir modüldür. Devre bu modülün pinlerine direkt olarak geçek şekilde tasarlanmıştır. CMU Cam

pinlerinden “Power” girişine 7 V vermek için, “TTL Serial” girişine haberleşme için bağlıdır. Onun dışında bir bağlantıya ihtiyaç duymamaktadır.

CMU Cam ile haberleşme yapmak için öncelikle bağlantı hızını ayarlamak ve daha sonra üzerinde gelen MAX 232 çipini çıkarmak gereklidir. Bağlantı hızımızı bizim seçimimiz olan 115200 bps’a ayarlamak için “jumper 2” ve “jumper 3” pinlerinin açık devre bırakmak yeterlidir.

3.3.2 Sistem Modeli

Sistem kısaca CMU Cam’den piksel olarak gelen düşey eksendeki çizgi pozisyon bilgisini kontrolcüden geçirir. Kontrolcü çıkışında elde edilen hızlanma yada yavaşlama verisi robotun istenilen hızından toplanır ve çıkartılır. Böylelikle sağ ve sol motor referans sinyalleri üretilmiş olur. Bu referans sinyaller aynı anda iki motor sürücü tarafından işlenerek aktivatörlere iletilir. Sonuçta oluşan hareket tekrardan CMU Cam Tarafından pozisyon bilgisine dönüştürülür ve kapalı döngü tekrarlanır.



Şekil 3.19 Motor sürücü sistem modeli.

x_{ref} : Araç merkezinin çizgiye göre pozisyonunun referansı

K: Sistemin genel kontrolcüsü.

$K_{L,R}$: sağ veya sol motor sürücü kontrolcüsü tasarımı.

$A_{L,R}$: Sağ veya sol aktivatör.

$P_{L,R}$: Sağ veya sol aktivatörün ölçümden sonraki redüktör,tekerlek... gibi mekanik aktarma elemanları.

$\ddot{O}_{L,R}$: Sağ veya sol motordan enkoder ile alınan ölçümün sabit çarpanı.

M: Mobil robotun mekanik modeli.

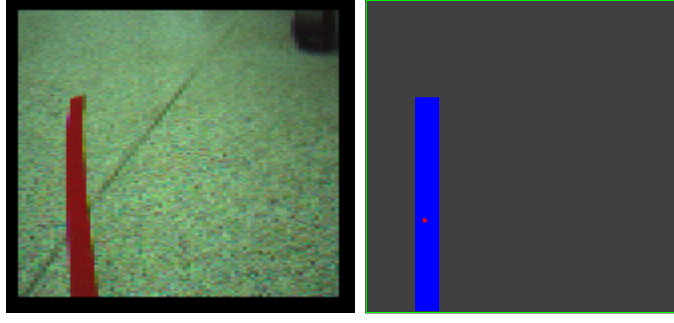
C: Kamera görüşüyle pozisyon ölçümü.

3.3.2.1 Kontrolcü Tasarımı [K]

Robot CMU Cam'den aldığı pozisyon verisini x_{ref} bilgisinden çıkararak bir hata döndürür. Bu hata seçilen kontrolcüde işleme sokularak dümenleme girişi elde edilir. Kontrolcünün genel tasarımı bu şekildedir.

Sisteme giriş yapan verileri incelemek sistemi anlamak açısından daha uygundur. x_{ref} bilgisi sabit bir sayıdır. Bizim sistemimizde aracımızı çizgiyi tam olarak kamerayı ortalayacak şekilde, yani robotun orta ekseninden geçecek şekilde konumlandırmaya çalıştığımız için x_{ref} bilgisi "Sıfır" olarak seçilmiştir.

CMU Cam veriyi işlemeden önce seçtiğimiz kırmızı rengi işlemek üzere parametre ayarı yapılır. Ardından düzenli şekilde kırmızı rengin takip bilgisini vermeye başlar.



Şekil 3.20 CMU Cam ölçüm görüntüsü

Bu bilgi renk piksellerinin kütle merkezi, piksellerin çerçeve ölçüsü ve bu çerçeve içindeki yoğunluk bilgisinden oluşmaktadır. Kontrolcümüz bu verilerden sadece kütle merkezinin x bileşeni kullanılmaktadır. Kırmızı nokta (Şekil 3.20) kütle merkezini göstermektedir. Bu kütle merkezi bilgisini CMU_{mx} olarak adlandırabiliriz.

Bu durumda CMU_{mx} bilgisi piksel çözünürlüğünden dolayı ekranın merkezini “Sıfır” kabul edersek $[-40,40]$ arasında değişmektedir.

Kontrolcümüz PID olarak seçilmiştir. x_{ref} ve CMU_{mx} bilgileri bir birinden çıkartılarak hatamızı elde etmiş oluruz. Tasarlanan kontrolcünün girişini de bu hata oluşturur. Çıkışı aracın dümenleme algoritmasının girişini oluşturmaktadır.

3.3.2.2 Dümenleme

Mobil robotumuzun dümenlemesi iki tekerlek arasındaki hız farkına dayanmaktadır. Sağ motor hızlı döndüğünde sola, sol motor hızlı döndüğünde sağa doğru dönüş yapmaktadır. Dümenleme kontrolümüzün temeli buna dayanmaktadır.

Kontrolcümüzün çıkışı tek bir sayı olduğu için dönüş için iki motorun referans farkını bu sayı baz alınarak sağlamak gereklidir. Bunun yanında robotun istenilen gidiş hızı da belirlenmiş olmalıdır.

Dümenleme kontrolü kısaca bu iki veriyi toplamını bir motora, bu iki verinin farkını diğer motorun referansına girerek iki motor arasındaki hız farkını yaratmış

olur. Elde edilen bu iki hız referansı motor sürücülerinin girişine gönderilir. Oradan hareket olarak sisteme iletilir.

3.3.2.3 Mekanik Model [M]

Robotun aktivatör çıkışlarından iki ayrı hız elde edilir. Bu hızlarla ilişkili olarak robot bir modele uygun olarak yönlenebilir. Bu sistem bu yönlenebilirliği temsil etmektedir.

3.3.2.4 Kamera Modeli [C]

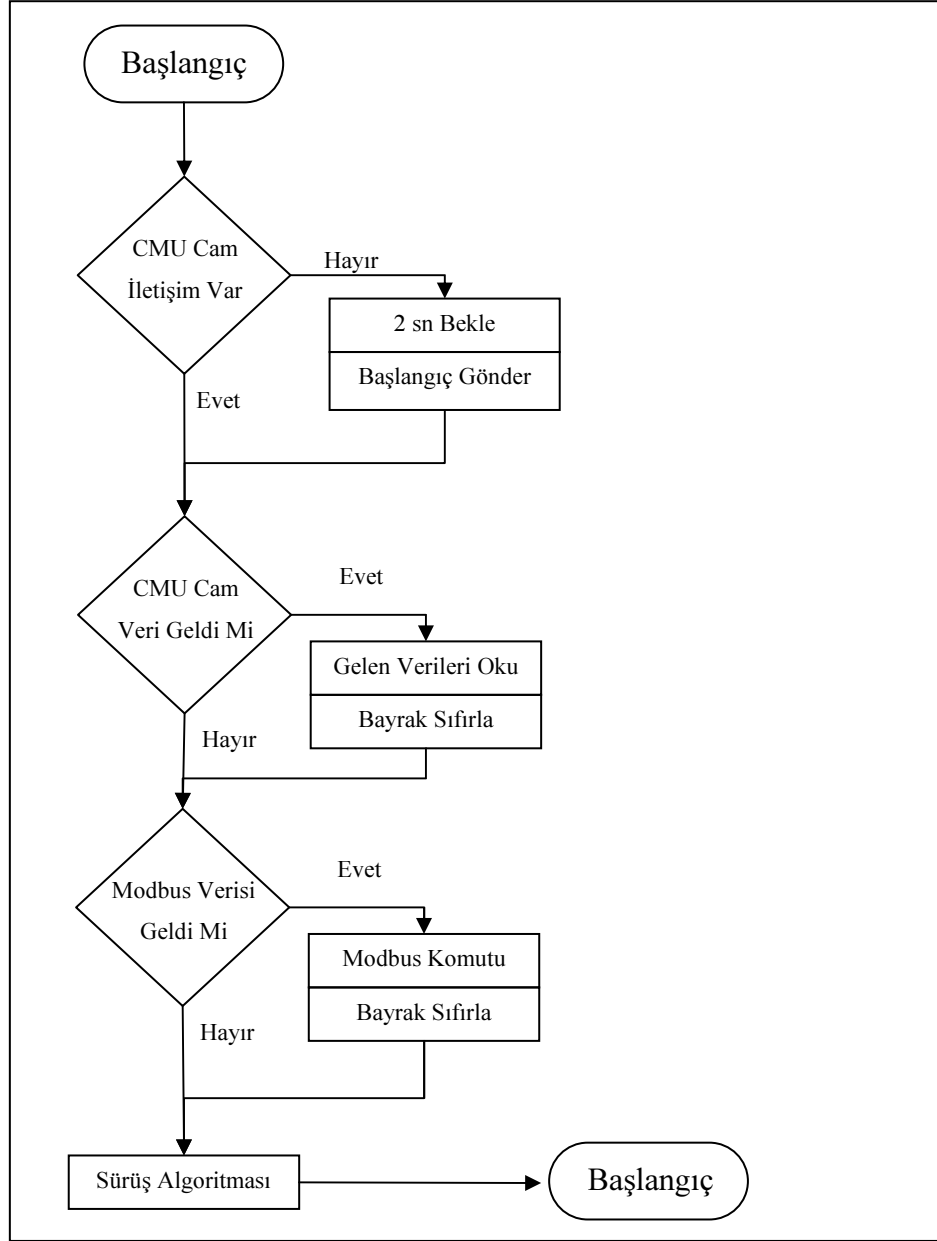
Robotun oluşturduğu yönlenebilirlik kameradan okunarak belirli ışık kırılmaları ve matematiksel işlemler sonucunda Yerdeki referans çizgiye göre bir sonuç olarak döner. Bu sistem bu dönüşümü temsil etmektedir. Çıktısı sistemin geri beslemesini oluşturmaktadır.

3.3.3 Algoritma Tasarımı

Önceden belirlenmiş renk bilgisi CMU Cam ile “CMU Cam Haberleşme Algoritması” ile haberleşerek bildirilir. CMU Cam tarafından takibi yapılacak renk bilgisi iki aralıktan oluşan bir RGB kodudur. Buradaki amaç kamera görüntüsündeki renk dalgalanmalarından oluşacak çizgi takibi kesintilerini engellemektir. Örnek olarak kırmızı renk takibini seçersek renk bilgisi olarak [100,0,0] ile [255,50,50] değerlerini göndermek uygundur. Renk bilgisini göndermek CMU modülün anlayacağı şekilde ASCII formatında “TC [Rmin Rmax Gmin Gmax Bmin Bmax]\r” şeklinde bir gönderimle mümkün olur.

Daha sonra CMU Cam düzenli olarak 17 fps hızında görüntü işleme bilgilerini döndürür. Elimizde rengin merkez pozisyon bilgisi ile yoğunluk bilgisi olur. Bu bilgiler ile istenildiği takdirde başka bir modüle haberleşme sayesinde aktarılır yada modül içerisinde bulunan sürüş algoritması sayesinde PWM çıkışı olarak direk motor sürücülere iletebiliriz.

3.3.3.1 Genel Algoritma



Şekil 3.21 CMU Cam Modül algoritma tasarımı

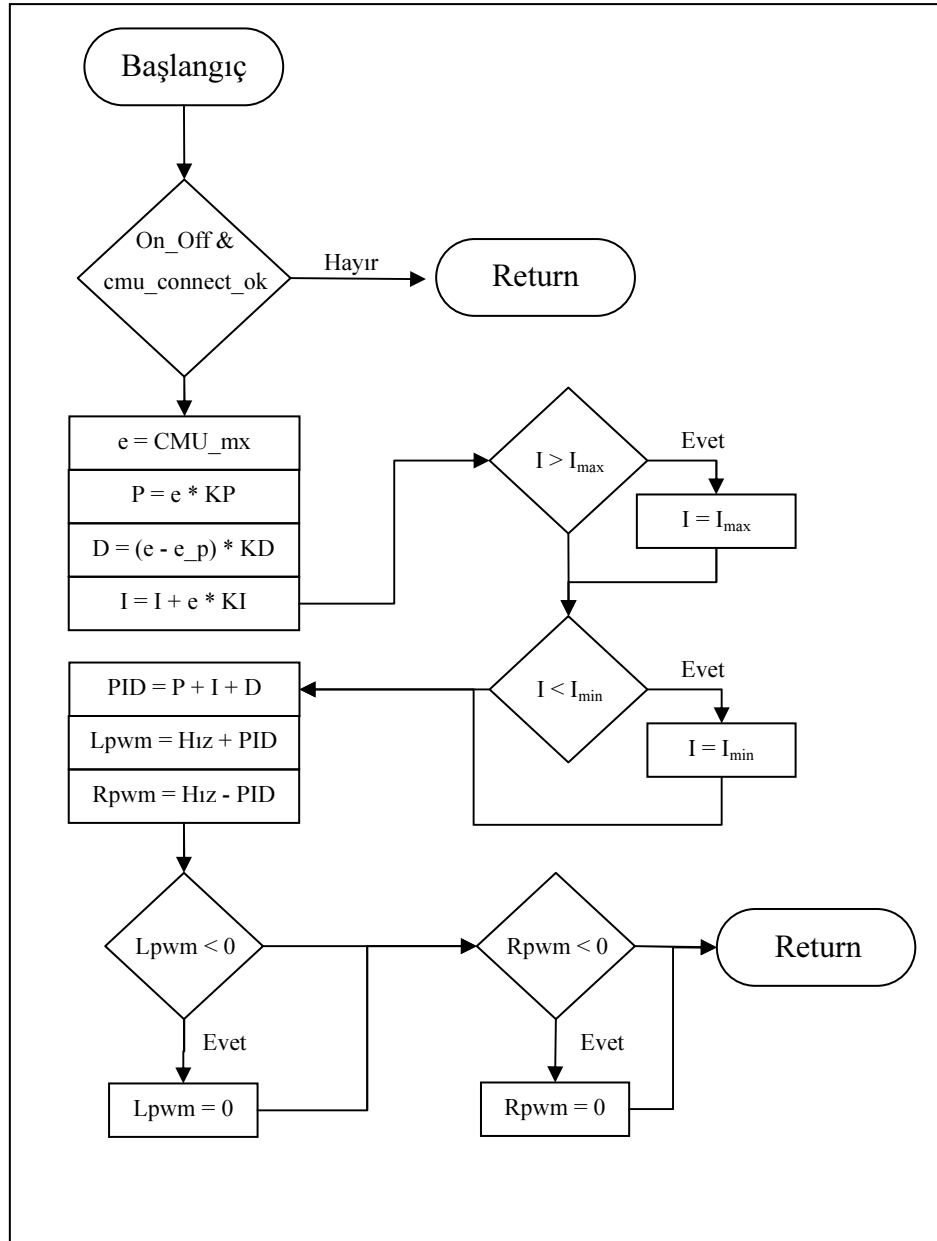
Temel çevrimde öncelikle CMU Cam haberleşmesi kontrol edilir. Eğer bir sıkıntı varsa kameranın başlangıç haberleşmesi tekrarlanır. Bu süreç haberleşme yapılana kadar 2 sn'de bir devam eder.

Sonrasında CMU Cam'den istenilen şekilde verinin gelip gelmediği kontrolü yapılır. Eğer veri düzgün gelmişse veri okunarak sayısal bilgiye dönüştürülür. Böylelikle CMU_mx bilgisini elde etmiş oluruz.

Bu işlemlerden sonra modbus protokolü için kullanılan port ta kontrol edilir. O port haberleşme verisi gelmişse modbus işlemlerine geçilip veri gönderilir veya alınır. Bu kısımda amaç telemetri sistemiyle haberleşmektir.

Tüm bu işlemler bittikten sonra sürüş algoritmasına girilir.

3.3.3.2 Sürüş Algoritması



Şekil 3.22 Sürüş Algoritması

Algoritmanın başlangıcında CMU Cam bağlantısını ve algoritmanın aktif olup olmaması gerektiğini kontrol eder. İkisi de uygunsa devam eder. Daha sonra e, P, I, D bilgilerini oluşturur. I bilgisinin sınır koşulları içerisinde kalmasını sağlar.

Daha sonra P, I, D değerleri toplanarak PID çıkışı bulunur. PID çıkışını motorların girişine gönderecek dümenleme algoritmasından geçirir. PWM çıkışlarının limitleri kontrol edilir. Daha sonra fonksiyondan çıkarılır.

3.3.3.3 Modbus Register Tablosu

Temel işlemleri modül bazı parametreler (Tablo 3.1) aracılığı ile yapmaktadır. Bu parametrelerin (Tablo 3.1) yanında sistemin durumunu takip edebileceğimiz bazı değişkenler de yer almaktadır.

Tablo 3.1 Modbus register tablosu

ID	ADI	ÇARPAN	ERİŞİM	AÇIKLAMA
0	Program Versiyonu	1	r	Yüklü Program Versiyonu [AAYY]
1	Modbus İletişim Adresi	1	rw	İletişim Ağında Verilen Adres
...	...			
...	...			
5	Start-Stop	1	rw	0-Stop,1-Start
6	Mod Seçimi	1	rw	Değişik Sürüş Algoritmalarına Geçiş Yapabilmek İçin Kullanılır.
7	Sol Motor PWM	1	r	Sol Motorun Çıkış PWM Değeri
8	Sağ Motor PWM	1	r	Sağ Motorun Çıkış PWM Değeri
9	Durum	1	r	Algoritmanın Hangi Durumda Olduğunu Bildiren Değişken
10	CMU mx	1	r	CMU Cam den gelen ağırlık merkezi x bileşeni
11	CMU my	1	r	CMU Cam den gelen ağırlık merkezi y bileşeni
...	...			
22	Manuel Hız Girişi	1	rw	Manuel Sürüş İçin Hız Bilgisi
23	Manuel Yön Girişi	1	rw	Manuel Sürüş İçin Yön Bilgisi

3.3.2.1 Durum Değişken Tanımı

Durum değişkeni sistemin o andaki öne çıkan faaliyetini (Tablo 3.2) bize bildirir.

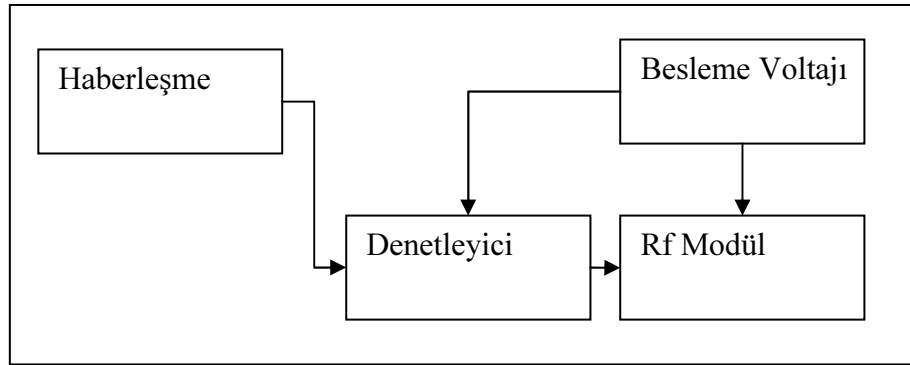
Tablo 3.2 Tablo Durum kodlarının tanımı

Durum No	Açıklama
0	Sistem Duruyor
1	P Kontrolcü Algoritması İle Çalışıyor
2	PI Kontrolcü Algoritması İle Çalışıyor
3	PID Kontrolcü Algoritması İle Çalışıyor
4	Fuzzy Kontrolcü Algoritması İle Çalışıyor
...	...
9	Cihaz Çizgi Arama Algoritmasında Çalışıyor
10	Manuel Sürüş Algoritmasında Çalışıyor
...	...
50	Mod Seçimi Hatası
51	CMU Cam ile Haberleşme Hatası

3.4 Telemetri Modülü Tasarımı

Modül scada sistemi ile mobil robotun haberleşmesini kablosuz olarak sağlar. Yaklaşık 100 m uzaklıkta bilgi gönderip alabilme kapasitesine sahiptir.

3.4.1 Elektronik Tasarım



Şekil 3.23 RF Modülün donanımsal yapısı

Haberleşme: RS485 fiziksel katmanı için hazırlanmış donanımdır.

Besleme Voltajı: Sistem voltajını denetleyicinin çalışma voltajına ve RF modülün çalışma voltajına (3V) düşüren donanımdır.

Denetleyici: Algoritmanın yazıldığı yorumlayıcı sistemdir.

Rf Modül: RF haberleşmenin yapıldığı modüldür.

3.4.2 Algoritma Tasarımı

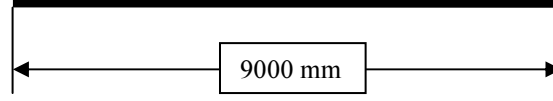
RS485 haberleşmesinden gelen bilgiler rf modül üzerinden belirli periyotlarla diğer rf modül üzerindeki gelen bilgi ile senkron olur. Böylelikle her iki modülün üzerindeki bilgi her zaman aynı kalır ve haberleşme sağlanır.

BÖLÜM DÖRT

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

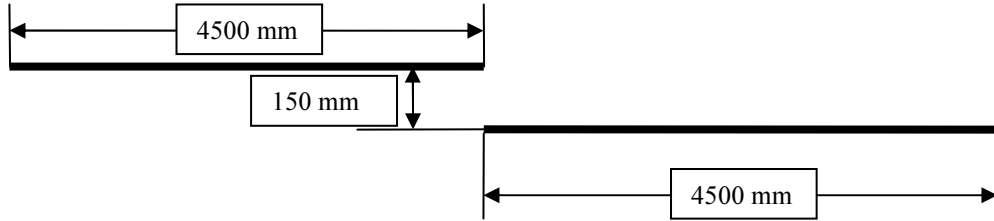
4.1 Çalışma Ortamı

Mobil robotun çalışma ortamı istenilen mesafelerde çizilmiş yüzey renginden tamamen farklı bir renkte seçilmiş çizgilerden oluşmaktadır. Bizim deneyimizde kırmızı renk seçilmiştir. Deneyler için 3 farklı ortam hazırlanmıştır.



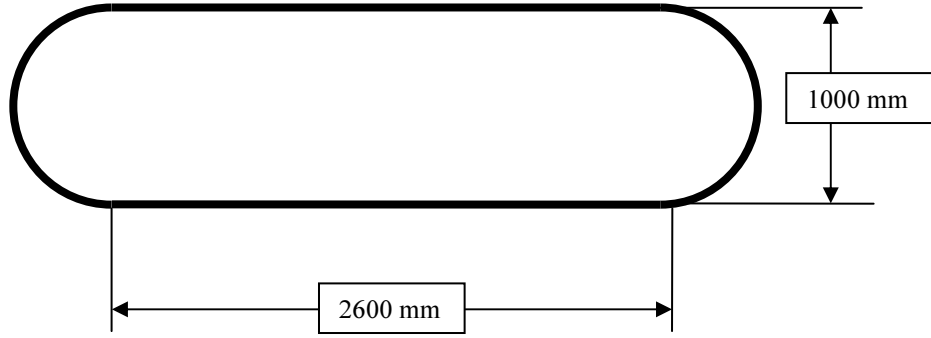
Şekil 4.1 Mobil robotun deney ortamı 1

Deney ortamı (Şekil 4.1) sistemin PID parametrelerinin optimizasyonu için kullanılan düzenektir. Ziegler–Nichols Metodu içinde bu düzenek kullanılmıştır.



Şekil 4.2 Mobil robotun deney ortamı 2

Düzenek (Şekil 4.2), performans testleri için hazırlanmıştır. Ara mesafe kameranin görüş açısında kalabilecek ek geniş mesafeye göre ayarlanmıştır. Böylelikle geçişte oluşan basamak hatası maksimum değerine yakın olarak başlatılmış olur. Bu durum robotun davranış grafiğini daha belirgin hale getirir. Ayrıca Ziegler–Nichols Metodunun ikincil testleri de burada gözlenilmiş olur.



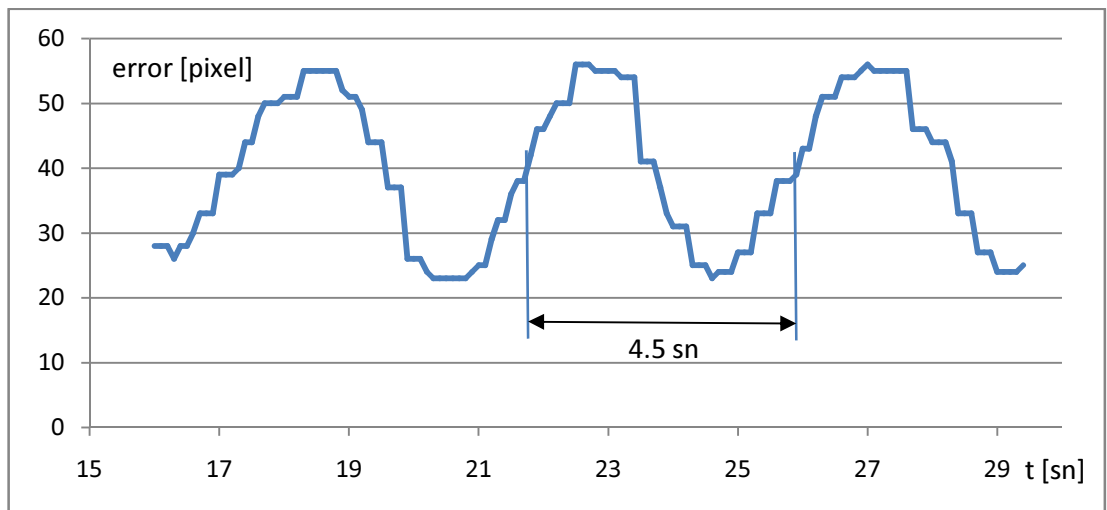
Şekil 4.3 Mobil robotun deney ortamı 3

Ortam (Şekil 4.3), robotun çizgi takip performansının test edildiği şekildedir. Bu ortamda robot tam dönüş yapmak zorunda bırakıldığı için dönüşteki davranışı daha rahat incelenir.

4.2 Ziegler–Nichols Metodu

Robotun diğer davranışlarına geçmeden önce sistemi en iyi durumda çalıştıracak PID parametrelerini belirlemek uygun olur.

Metodun getirdiği tekniğe uygun olarak limitlere en yakın salınım ölçümü alınacak şekilde “Deney 1” ortamında ölçüm alınır.



Şekil 4.4 Ziegler–Nichols Metodu salınım grafiği



Şekil 4.5 Ziegler–Nichols Metodu için oluşturulan deney düzeneği

Ölçüm sonucu $K_u = 0.6$ ve $T_u = 4.5$ sn olarak bulunur. Bizim algoritmamızın çalışma periyodu 0.1 sn olduğu için $T_u = 4.5 / 0.1 = 45$ olarak alınır. Bu durumda :

$$K_p = 0.2 K_u = 0.2 * 0.6 \cong 1/10 \quad (4.1)$$

$$K_I = 0.5 \frac{K_p}{T_u} = 0.5 * \frac{0.6}{45} = \frac{1}{150} \quad (4.2)$$

$$K_D = \frac{K_p T_u}{3} = \frac{45}{3 * 10} = \frac{45}{30} \quad (4.3)$$

4.3 Çizgi Takip Kabiliyeti

Çizgi takip kabiliyeti incelenirken “Deney 2” düzeneği üzerinde sisteme basamak girdi verilir. Basamak girdinin kamera görüş alanına göre maksimum hatayı verecek şekilde ayarlanması gereklidir. İki çizgi arasındaki bu ölçünün 150mm olduğu görülmüştür.

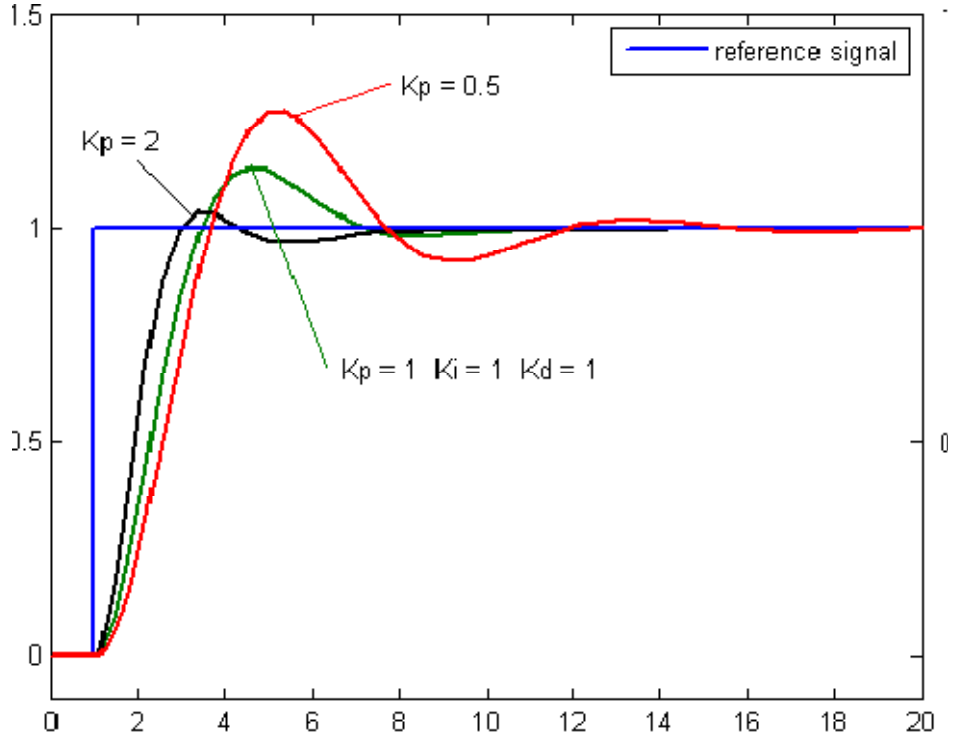
Kabiliyet incelenirken sistemin Ziegler–Nichols Metodu sonucu çıkan PID parametreleri bir olarak kabul edilip, diğer iki denemede bu parametrelerin yarısı ve iki katı alınır. Her denemede tekbir katsayının değişimi incelenerek sistemin davranışı çıkartılmış olur.



şekil 4.6 Basamak girdi için oluşturulan test düzeneği

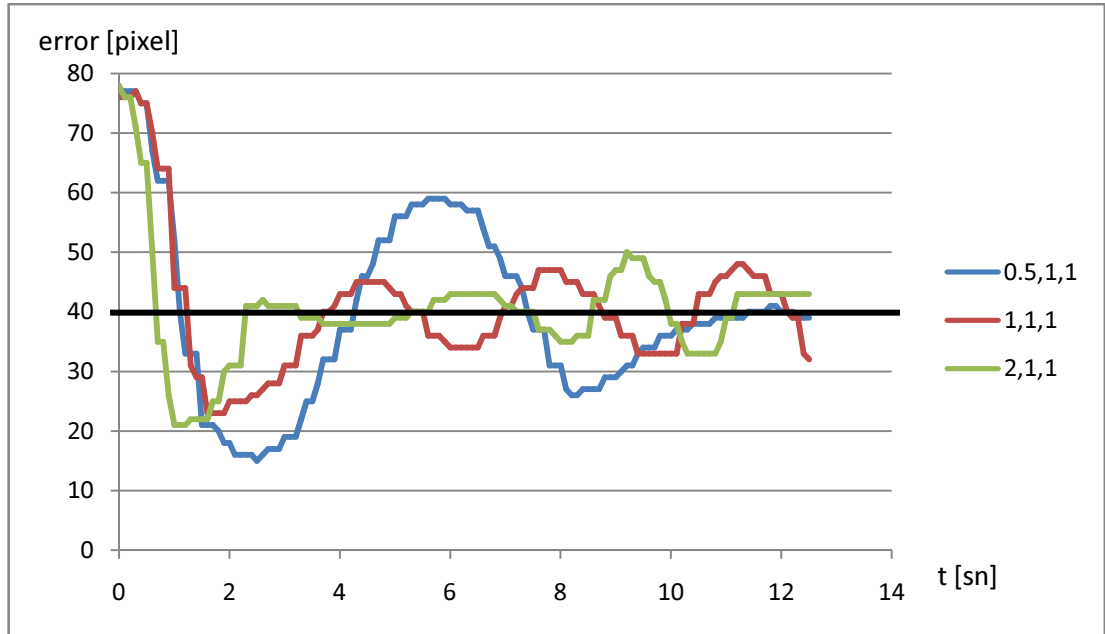
4.3.1 Oransal Etki

Deney $K_P = 1/10$ şeklinde seçilen parametresinin $1/20$, $1/10$, $1/5$ değerleri için tekrarlanır. Bununla birlikte $K_I = 1/150$, $K_D = 45/30$ olarak sabit bırakılır. Sonuç olarak beklentimiz şekil 4.7'deki etkiyi görmektir.



Şekil 4.7 Sistemin beklenen davranışı.

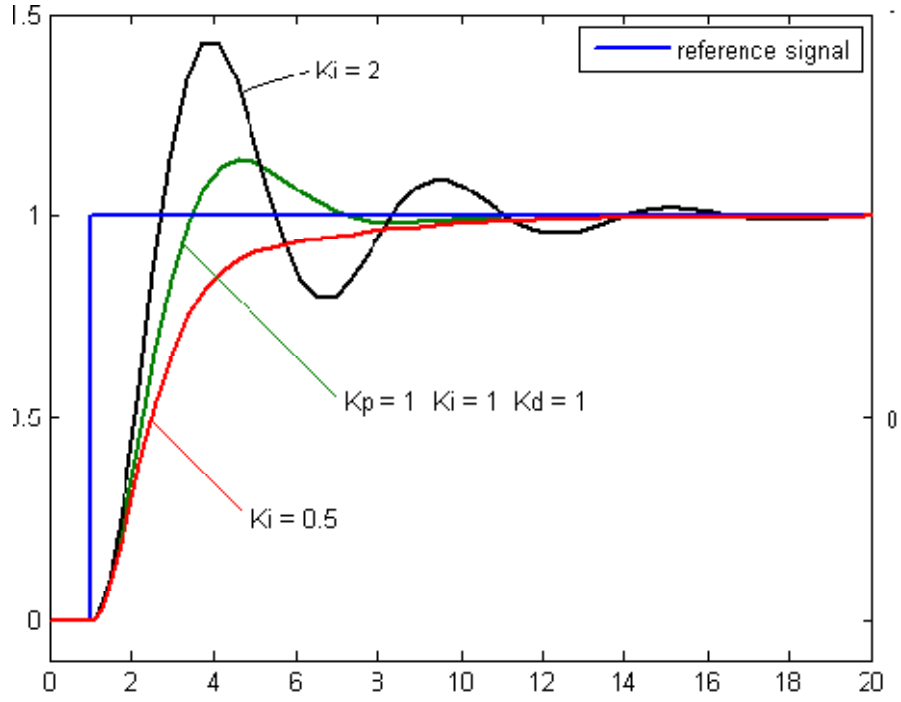
Deney koşullarını aynı tutarak sistemin basamak girdisi Şekil 4.8'teki gibi ölçülmüştür.



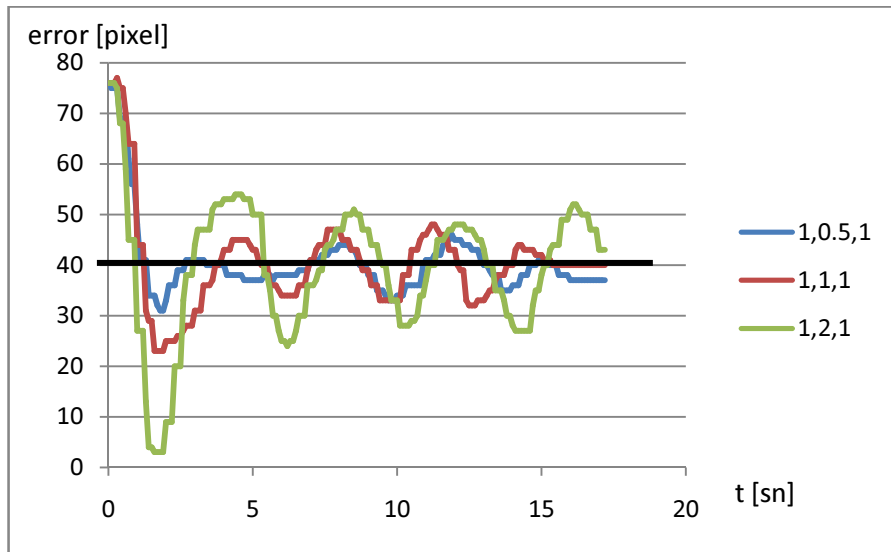
Şekil 4.8 Sistemin K_p değişimi için ölçülen davranışı

4.3.2 İntegral Etki

Deney $K_I = 1/150$ şeklinde seçilen parametresinin $1/300$, $1/150$, $1/75$ değerleri için tekrarlanır. Bununla birlikte $K_P = 1/10$, $K_D = 45/30$ olarak sabit bırakılır. Sonuç olarak beklentimiz Şekil 4.9'daki etkiyi görmektir.



Şekil 4.9 Sistemin beklenen davranışı.

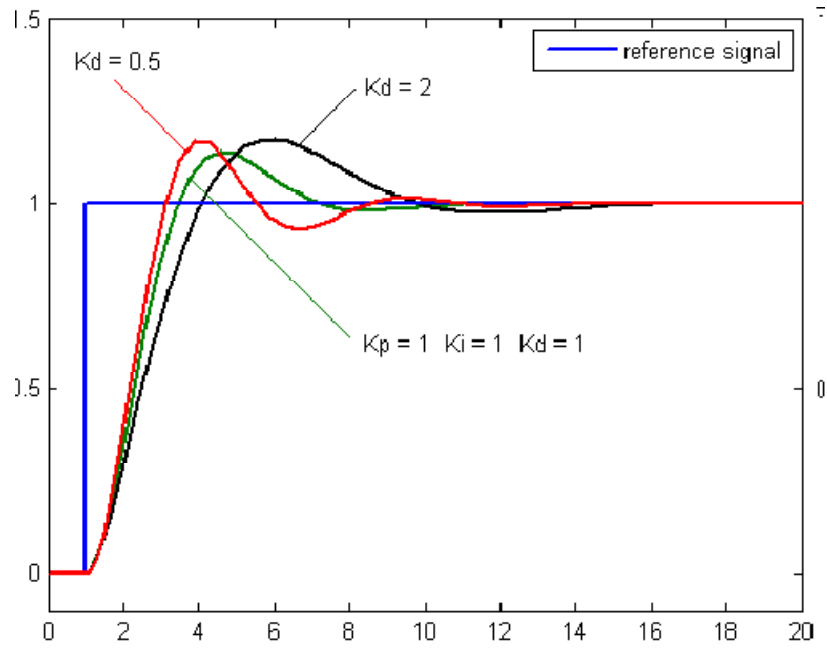


Şekil 4.10 Sistemin K_I değişimi için ölçülen davranışı

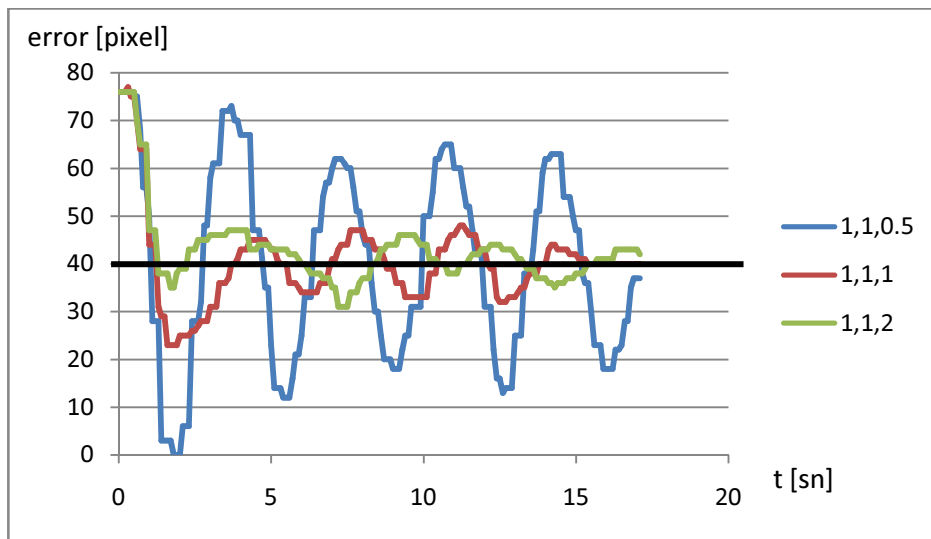
Deney koşullarını aynı tutarak sistemin basamak girdisi Şekil 4.10'daki gibi ölçülmüştür.

4.3.3 Diferansiyel Etki

Deney $K_D = 45/30$ şeklinde seçilen parametresinin 45/60, 45/30, 45/15 değerleri için tekrarlanır. Bununla birlikte $K_I = 1/150$, $K_D = 45/30$ olarak sabit bırakılır. Sonuç olarak beklentimiz Şekil 4.11'deki etkiyi görmektir.



Şekil 4.11 Sistemin beklenen davranışı.

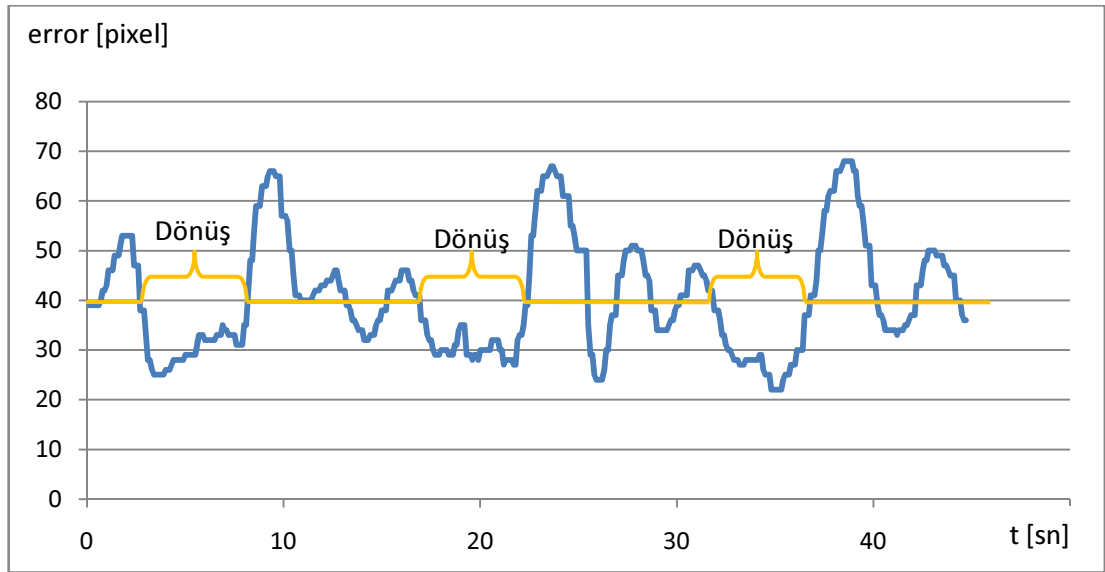


Şekil 4.12 Sistemin K_D değişimi için ölçülen davranışı

Deney koşullarını aynı tutarak sitemin basamak girdisi Şekil 4.12'deki gibi ölçülmüştür.

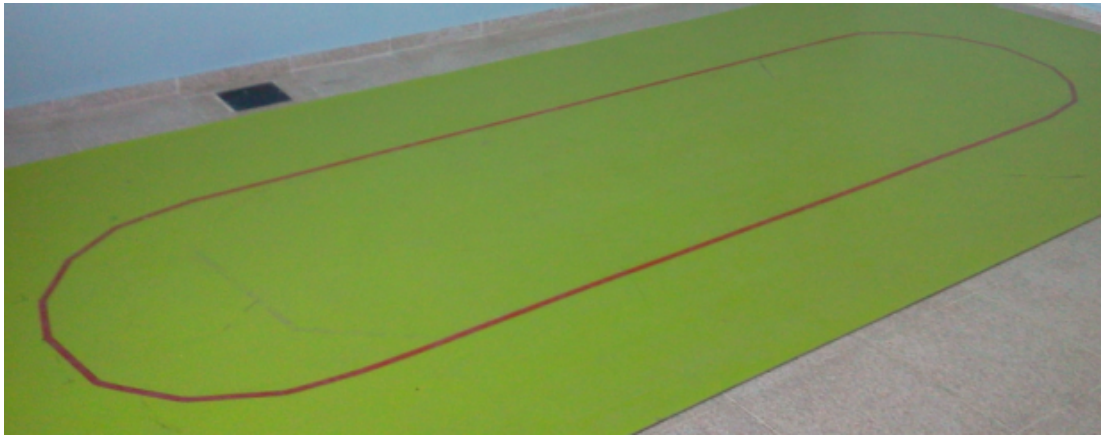
4.4 Dönüş Kabiliyeti

Deney mobil robotun çizgi takip kabiliyetini ölçmek için oluşturulan “Deney 3” ortamında çizgi takibi yapılması üzerine kurulur. Amaç limitlerini en fazla zorlayan hareket olan dönüş hareketinde robotun davranışını gözlemlemektir.



Şekil 4.13 Deney 3 düzeneğinin ölçüm sonuçları

Sonuçlar incelendiğinde seçilen PID parametreleri robotun dönüş kabiliyetinde yeterli başarı elde etmesini sağlamıştır.



Şekil 4.14 Oluşturulan deney düzeneği

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuç

Bu çalışmada mobil robotun aktivatör tasarımında geliştirmeler, sistemin tepki süresi iyileştirmesi üzerinde çalışılmıştır.

İki aşamalı kontrolcü yapısı ile daha iyi bir performans elde etmek amaçlanmıştır.Yapılan deneyler ve kalibrasyonlar sonucu robotun sürüş performansı iyileştirilmiştir. Ziegler–Nichols Metodu ile bulunan PID parametreleri görülen en iyi performansı vermiştir.

Bulunan PID parametrelerinin farklı versiyonları için basamak girdi ölçümleri alınarak sistem daha iyi tanınmıştır. Diğer çalışmalar için başlangıç altyapısı oluşturulmuştur.

5.2 Öneriler

Yapılan çalışma, robot üzerine eklenecek diğer donanımlara göre düzenlenebilecek temeli oluşturmaktadır. Mekanîçi mobil robot çalışmalarında çizgi takibi üzerine diğer kontrol algoritmalarının denenmesi bu robot üzerinde devam edilebilir. Bununla birlikte iç mekan haritalama, nesneleri algılama gibi çalışılacak projelerde robotun şu anki altyapısı kullanılabilir.

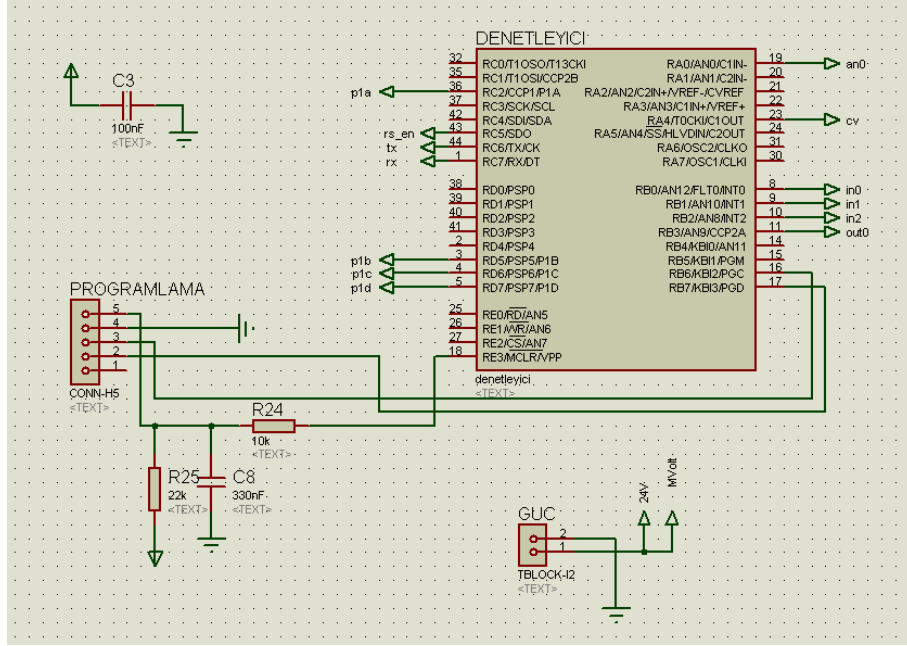
KAYNAKLAR

- Barfoot, T.D. ve Clark, C.M. (2004). Motion planning for formations of mobile robots, *Robotics and Autonomous Systems*, 46 (2), 65–78.
- Battle, J.A. ve Barjau, A., (2009). Holonomy in mobile robots, *Robotics and Autonomous Systems*, 57(4), 433–440.
- Gören, A. (2007). *Controlling non-holonomic vehicle via artificial neural networks*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Maaref, H., ve Barret, C. (2002). Sensor-based navigation of a mobile robot in an indoor environment, *Robotics and Autonomous Systems*, 38(1), 1–18.
- Maxim Integrated Products (1996). *Low-Power, Slew-Rate-Limited RS-485/RS-422 Transceivers*
- Normey-Rico, J.E., Alcalá, I., Gómez-Ortega, J. ve Camacho, E.F. (2001), Mobile robot path tracking using a robust PID controller, *Control Engineering Practice*, 9(11), 1209–1214.
- Park, J., Mackay, S. ve Wright, E. (2003). *Practical data communications for instrumentation and control*, 35-101.
- Park, B., Kim, J., ve Lee, J., (2012). Terrain feature extraction and classification for mobile robots utilizing contact sensors on rough terrain, *Procedia Engineering*, 41, 846 – 853.
- Reynders, D., Mackay, S., Wright, E., Mackay, S. (2004). *Practical industrial data communications*, 132–141.
- Rosenberg, C. ve Nourbakhsh, I. (2003). *CMU cam vision board user manual*.

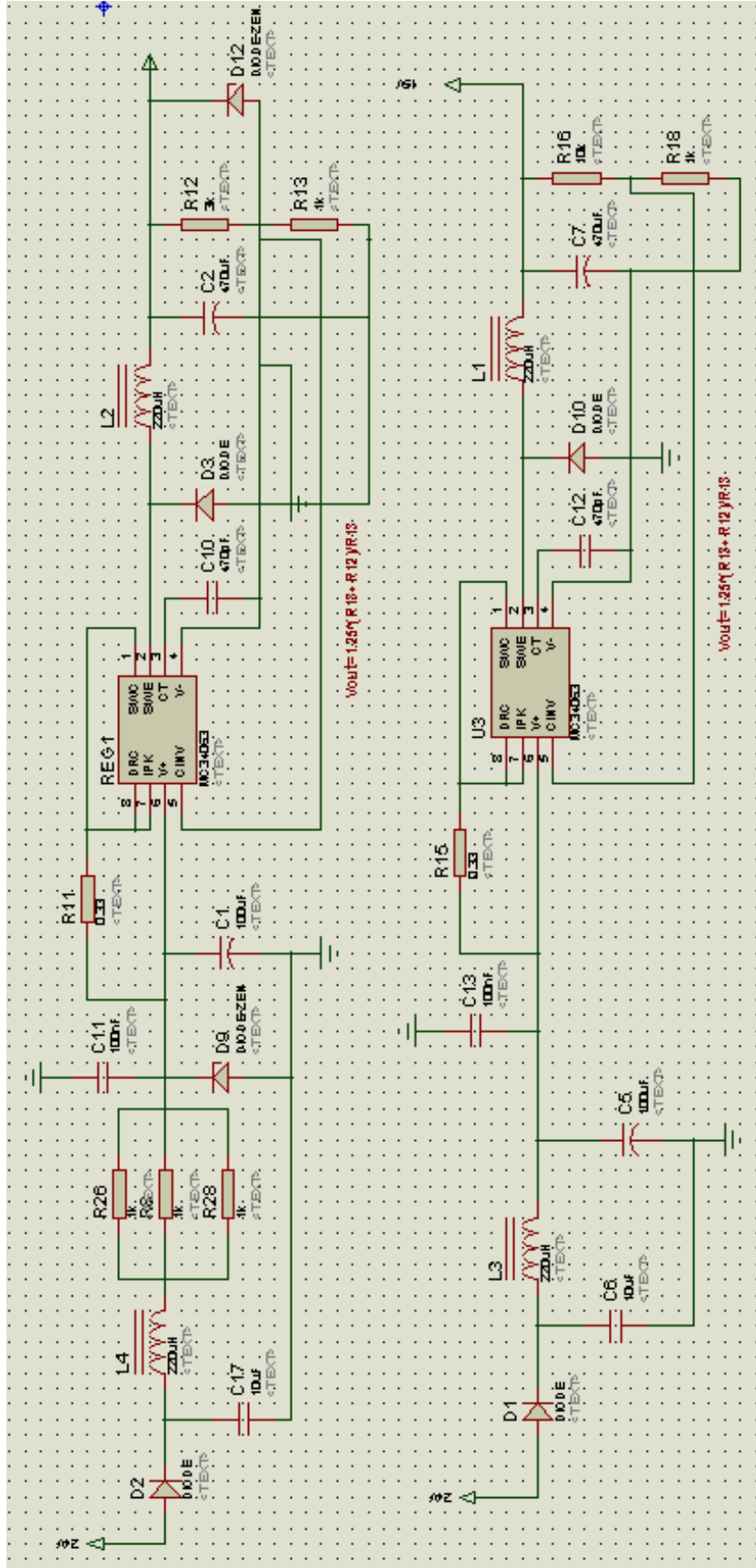
EKLER

EK 1 DEVRE ŞEMALARI

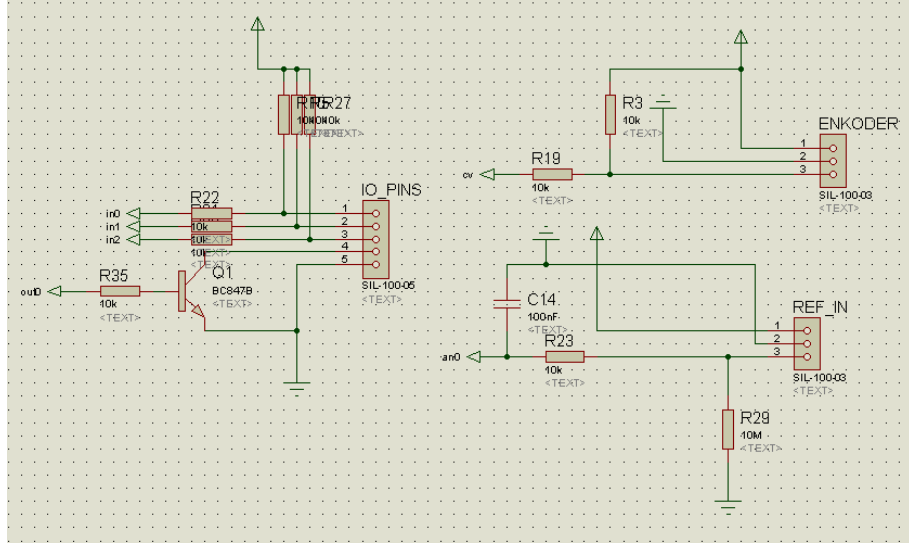
1. Motor Sürücü



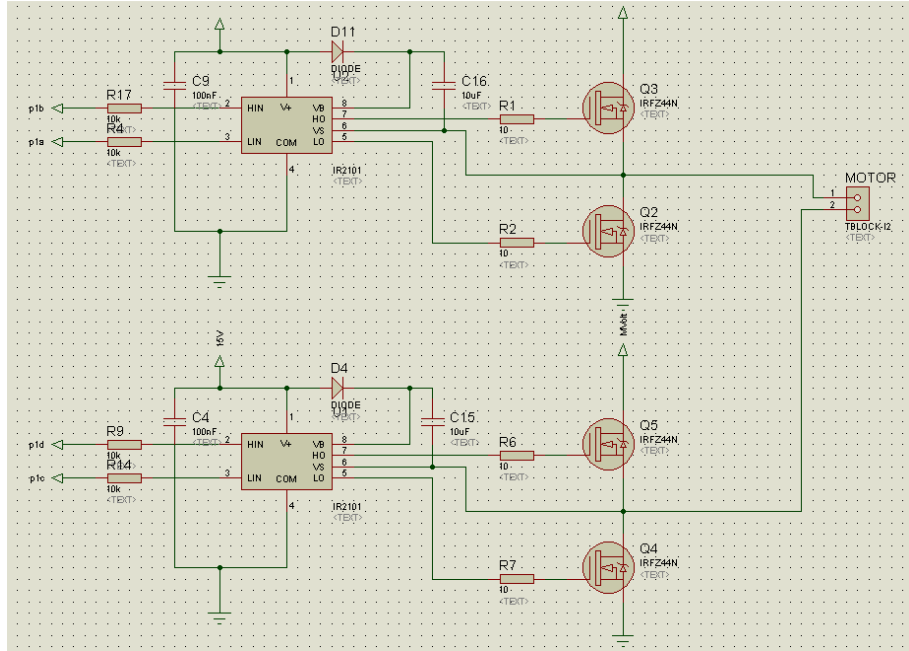
Şekil Ek 1 Motor sürücü devresi mikro denetleyici bloğu



Şekil Ek 2 Motor sürücü devresi voltaj regülatörü bloğu

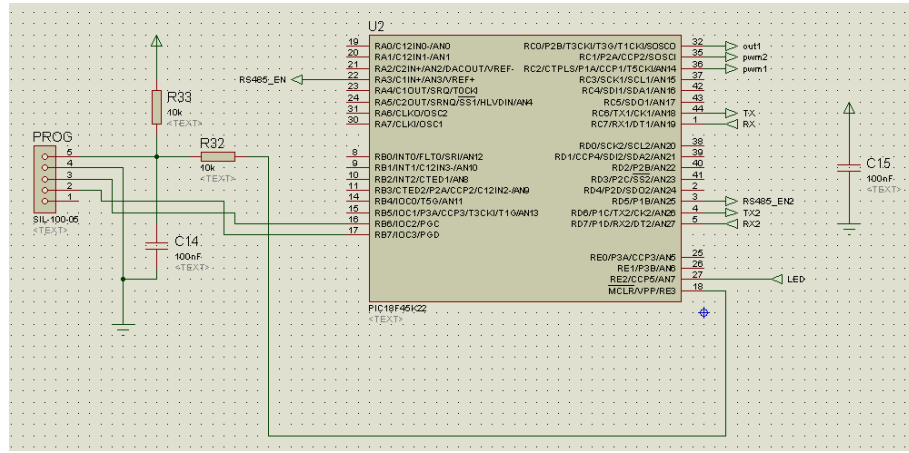


Şekil Ek 3 Motor sürücü devresi giriş-çıkış bloğu

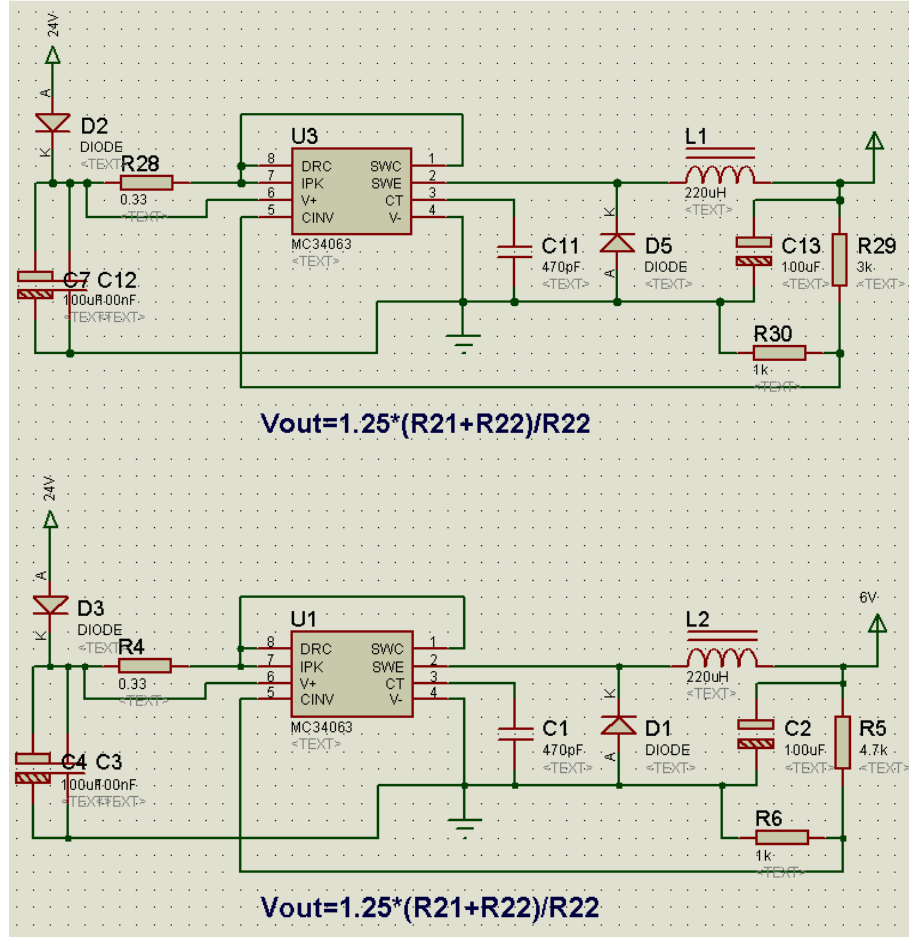


Şekil Ek 4 Motor sürücü devresi güç bloğu

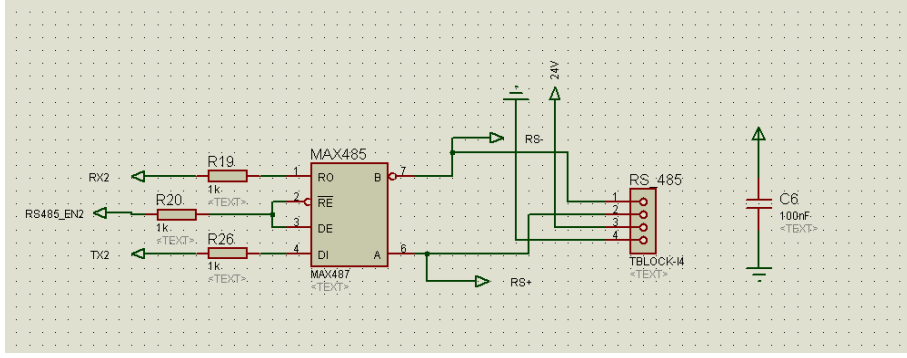
2. CMU Modülü



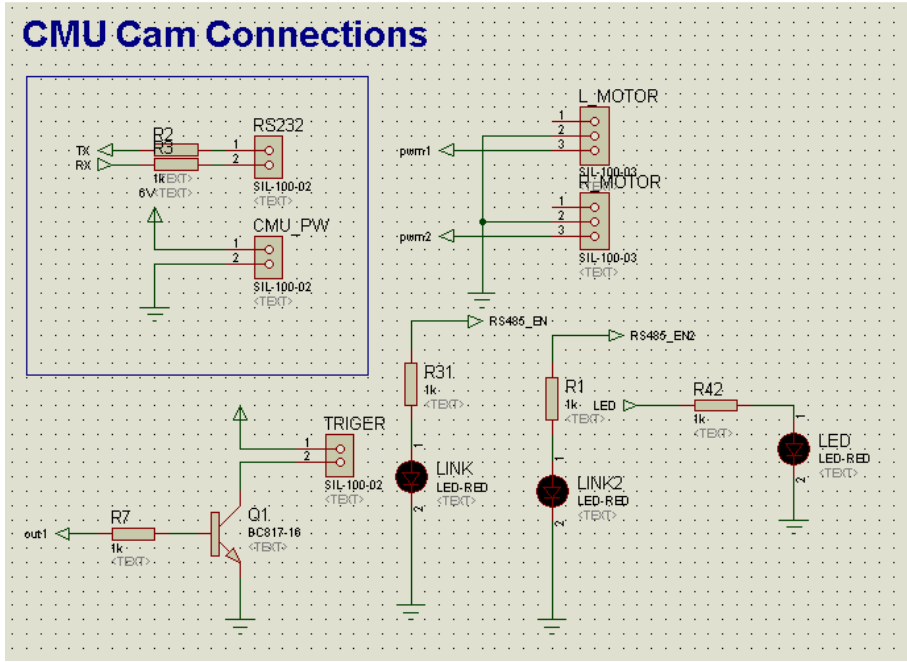
Şekil Ek 5 CMU Cam devresi mikro denetleyici bloğu



Şekil Ek 6 CMU Cam devresi voltaj regilatörü bloğu

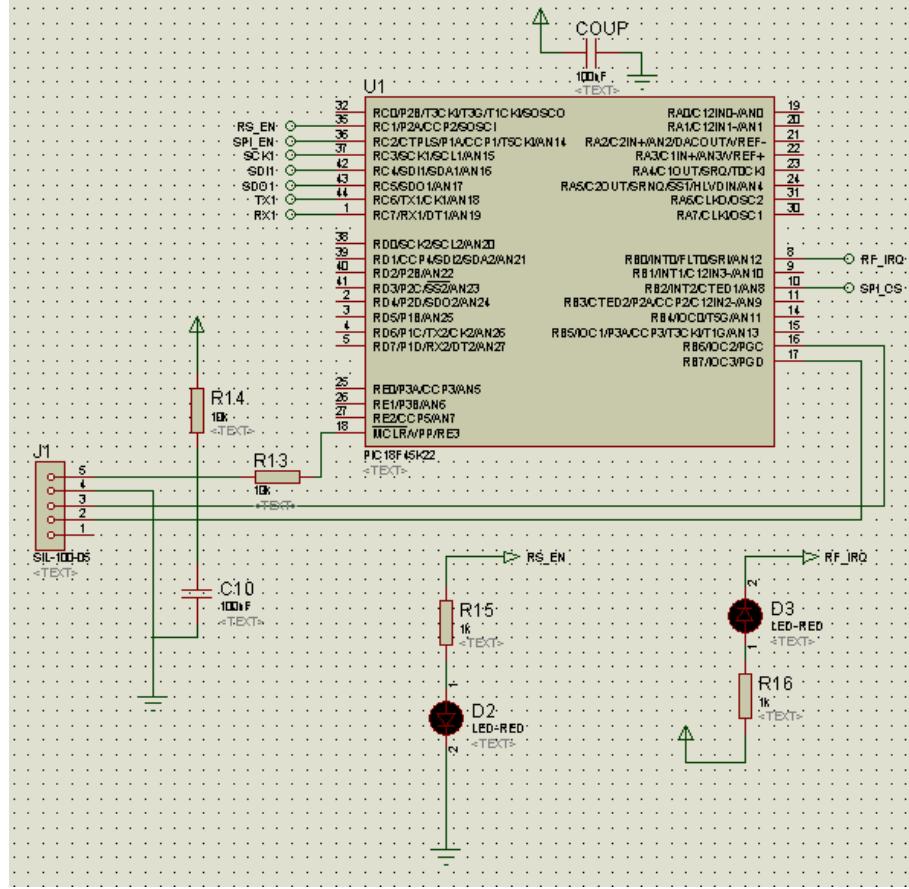


Şekil Ek 7 CMU Cam devresi RS485 haberleşme bloğu

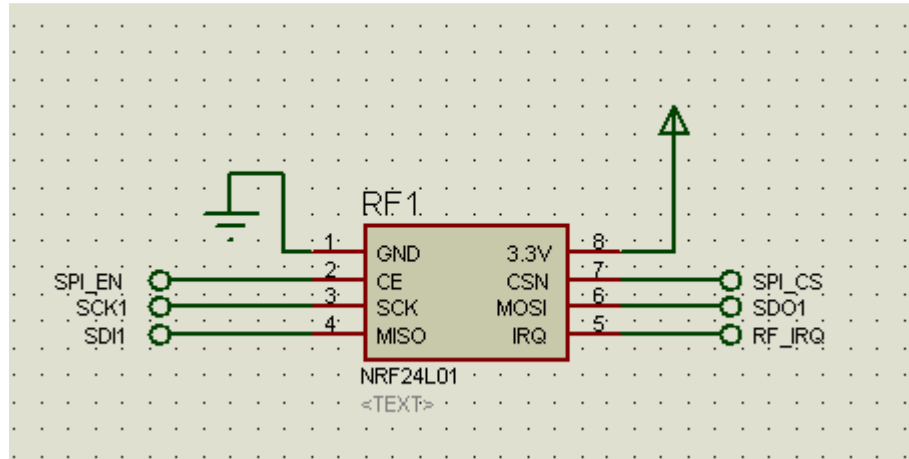


Şekil Ek 8 CMU Cam devresi giriş-çıkış bloğu

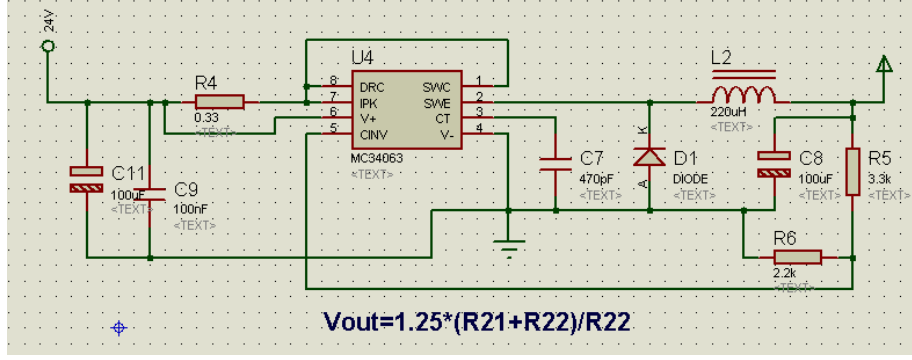
3. Telemetri Modülü



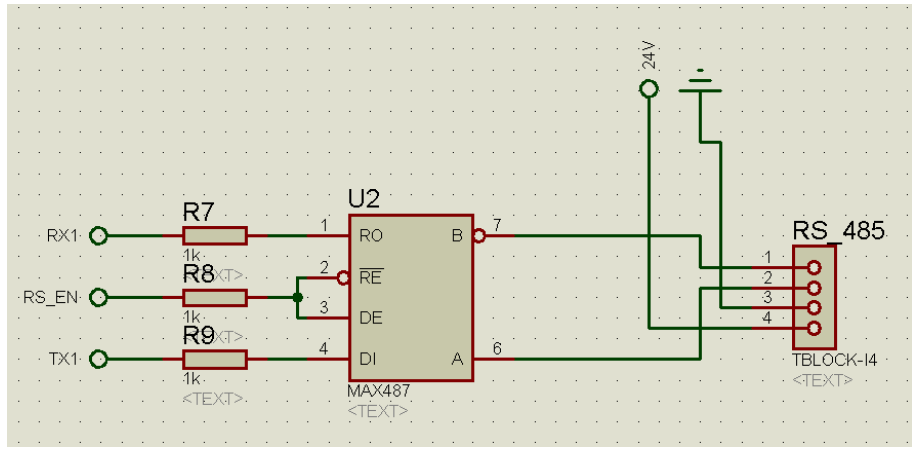
Şekil Ek 9 Telemetri modülü mikro denetleyici bloğu



Şekil Ek 10 Telemetri modülü NRF24L01 bloğu



Şekil Ek 11 Telemetry modülü voltaj regülatörü bloğu



Şekil Ek 12 Telemetry modülü RS485 haberleşme bloğu