



T.C.

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

Mühendislik Fakültesi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

**YENİ NESİL RADYATÖRLERDE SOĞUTMA
FANLARI İÇİN FDAM MOTOR SÜRÜCÜ**

(Bitirme Projesi)

279477 Muhammed Seyda CÖMERTLER

294774 Bahar ÖZMEN

279545 Nebi KARATAŞ

279525 Mert TEKNECİ

Yrd. Doç. Dr. Hakan KAHVECİ

HAZİRAN 2017

TRABZON



T.C.

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

Mühendislik Fakültesi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

**YENİ NESİL RADYATÖRLERDE SOĞUTMA
FANLARI İÇİN FDAM MOTOR SÜRÜCÜ
(Bitirme Projesi)**

279477 Muhammed Seyda CÖMERTLER

294774 Bahar ÖZMEN

279545 Nebi KARATAŞ

279525 Mert TEKNECİ

Yrd. Doç. Dr. Hakan KAHVECİ

HAZİRAN 2017

TRABZON

*Bu proje **Tubitak 2209/B Destek Programı** kapsamında desteklenmiştir.*

ÖNSÖZ

Projemiz süresince bizlere her konuda yardım eden, danışmanımız olarak atanan Sayın Yrd. Doç. Dr. Hakan KAHVECİ hocamıza teşekkür ederiz. Ayrıca proje çalışmalarımızda bizlere destek olan ve imkanlar sunan Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na ve Tubitak'a teşekkürlerimizi sunarız.

Eğitimimiz boyunca bizlere her konuda tam destek olan ailelerimize ve tüm hocalarımıza saygı ve sevgilerimizi sunarız.

Haziran 2017

Muhammed Seyda CÖMERTLER

Bahar ÖZMEN

Nebi KARATAŞ

Mert TEKNECİ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SEMBOLLER VE KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİL DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
GİRİŞ.....	1
1.1. Genel Bilgiler.....	1
1.2. Literatür Araştırması.....	1
1.3. Özgünlük.....	4
1.4. Yaygın Etki.....	4
1.5. Standartlar.....	5
1.6. Çalışma Takvimi.....	8
2. TEORİK ALTYAPI.....	11
2.1. Genel Bilgiler.....	11
2.2. Otomobil Soğutma Sistemi.....	11
2.3. Fırçasız Doğru Akım Motoru (FDAM).....	13
231. FDAM’ nun Yapısı.....	15
232. Fırçasız Doğru Akım Motoru Çeşitleri.....	17
233. Fırçasız Doğru Akım Motorunun Çalışma Mantığı ve Kontrolü.....	19
234. Fırçasız Doğru Akım Motorlarının Sürülmesi.....	21
234. Fırçasız Doğru Akım Motoruna Ait Matematiksel Denklemler	23
2.4. Mikrodenetleyiciler.....	25
241. Mikrodenetleyici Mimarisi.....	26
2.5. Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM).....	26
2.6. PI Denetleyici.....	27
2.7. Eviriciler.....	28
2.8. Konum ve Hız Algılayıcı Sensörler.....	30
3. TASARIM.....	32

3.1. Genel Bilgiler.....	32
3.2. Boyutlandırmalar.....	33
3.3. Sistem Bileşenleri ve Seçimi.....	33
3.3.1 Arduino.....	33
3.3.2 Opto-Kuplör.....	37
3.3.3 IRAMX20UP60A.....	38
3.3.4 FDAM.....	43
3.3.5 Hall Sensör.....	48
3.4. Yazılımlar.....	49
3.6. Malzeme Listesi ve Ekonomik Analiz.....	51
4. SİMÜLASYON (BENZETİM) ÇALIŞMALARI.....	52
4.1. Matlab Simülasyon Çalışması.....	52
4.1.1 Genel Bilgiler.....	52
4.2.2 Simülasyon Yazılımı.....	52
4.2.3 Sistem Modelleme.....	53
4.2.4 Simülasyon.....	54
4.2. Opto-Kuplör Simülasyon Çalışması.....	55
4.2.1. Genel Bilgiler.....	55
4.2.2. Simülasyon Yazılımı.....	55
4.2.3. Sistem Modelleme.....	56
4.3.4. Simülasyon.....	57
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	60
5.1 Referans Hız Sinyali.....	60
5.2 PI Bloğu.....	62
5.4 Evirici Katı ve Giriş Çıkış Sinyalleri.....	63
5.5 Motor Faz ve Hall Çıkışlarının Belirlenmesi.....	69
5.6 Prototip Model Kartının Hazırlanması.....	70
6. SONUÇLAR.....	73
6.1 Giriş.....	73
6.2 Simülasyon Sonuçları.....	73
6.3 Dene y Sonuçları.....	76
7. DEĞERLENDİRMELER.....	80

8. KAYNAKLAR.....	81
EKLER.....	84
ÖZGEÇMİŞLER	88

ÖZET

Bu projede motor soğutma sisteminde farklı boyutlardaki radyatör fanlarını çalıştıran fırçasız doğru akım motorlarına motor sürücü tasarlanmıştır. Değişken sıcaklık verilerine göre hız kontrolü sağlanarak fanın en verimli halinde motor soğutması sağlanmıştır. Fan motorunun enerji sarfıyatı enaza indirilmiştir.

Her yıl otomobil satışları giderek artmaktadır. Bunun en büyük nedenleri gelişen teknoloji ve artan refah seviyesidir. Otomobil satış miktarındaki bu artış oluşabilecek kazalardan dolayı yedek parça ihtiyacını da arttırmaktadır. Ayrıca bu parçaların yerli üretimi ihtiyaç sebebiyle önem kazanmaktadır. Artan refah seviyesi ile yeni nesil araçlardan beklenen performanslar da artmaktadır. Bu noktada önemli bir rol oynayan motor soğutma sistemleri yapısal değişikliklerle bizlere sunuluyor. Motor soğutma sistemlerinde kullanılan fırçalı doğru akım motorları yerine yeni nesil motor soğutma sistemlerinde fırçalı doğru akım motorlarına göre daha verimli, daha dayanıklı, yüksek torkta çalışma imkanı sunan ve daha sessiz çalışma sağlayan fırçasız doğru akım motorları kullanılmaktadır.

Bilindiği üzere fırçasız doğru akım motorlarında motor sürücü devresi tasarlanıp kullanılması gerekmektedir. İşte tam olarak bu noktada projemizin otomotiv sanayinde önemi ortaya çıkmaktadır.

Her taşıtta hayati önem taşıyan motor soğutma sistemi için oluşturduğumuz bu ürün yerli üretimde önem kazanacak ve uluslararası pazarda rekabet gücümüzün artmasında katkı sağlayacaktır.

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

FDAM-BLDC	: Fırçasız Doğru Akım Motoru
SMSM	: Sürekli Mıknatıslı Senkron Motor
PWM	: Pulse Width Modulation
PID	: Proportional Integral Derivative Controller
PLC	: Programmable Logic Controller
DC, DA	: Doğru Akım
MOSFET	: Metal–Oxide–Semiconductor Field-Effect Transistor
ASM	: Assembly
ODD	: Otomotiv Distribütörleri Derneği
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
IEC	: International Electrotechnical Commission
NEMA	: National Electrical Manufacturers Association
IC	: International Cooling
TENV	: Totally Enclosed Non-Ventilated
TEFC	: Totally Enclosed Fan Cooled
TEAO	: Totally Enclosed Over
IM	: International Mounting
nf	: Fan Verimi
ΔP	: Fanda oluşan basınç farkı
Q	: Hava debisi
N ₁	: Fan mil gücü
V	: Volt
A	: Amper
W	: Watt
AA, AC	: Alternatif Akım
N	: North

S	:South
E	: Faz Başına Düşen Endüklenen Gerilimin Tepe Değeri
N2	: Sargı Başına Sarım Sayısı
v	:Sargı Lineer Hızını
l	: SarımUzunluğu
B	: Manyetik Akı Yoğunluğu
Ke	: Endüklenen GerilimKatsayı
Wm	: Açısal Hız
CPU	:Central Processing Unit
RAM	: Random- Access Memory
ROM	: Read Only Memory
SRAM	: Statik RAM
EEPROM	: Electronically Erasable Programmable ROM
I/O	:Input/Output
D	: Doluluk Oranı
t1,t2	: Zaman
Kp,K1	: Kazanç Değeri
u(t)	: Giriş Sinyali
y(t)	: Çıkış Sinyali
IGBT	: İnsulated-Gate Bipolar Transistor
ADC	: Analog DigitalConverter
USB	: Universal Serial Bus
ECU	: Engine Control Unit
RMS	: Root MeanSquare
hz	: Hertz
C	:Celcius
PCB	: Baskı DevreKartı

P_{fan}	: Fanın Çıkış Gücü
PHB	: Hava Basıncı
PHA	: Hava Akışı
CFM	: Cubic Feet Meter
P_{fm}	: Fan Motorunun Mil Gücü
V_g	: Giriş Gerilimi
$I_{\check{c}}$: Çekilen Akım
N_m	: Tork
LED	: Işık Yayan Diyot
max	: Maksimum
min	: Minimum
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
P_g	: Giriş Gücü
$I_{\check{c}}$: Kaynaktan Çekilen Akım
V_{kaynak}	: Sistem Akü Gerilimi.
N_s	: Sürücünün Verimi
$P_{s\check{c}}$: Sürücünün Çıkış Gücü
P_{mg}	: Motorun Giriş Gücü

ŞEKİLDİZİNİ

Şekil 2.1 Otomobil Soğutma Sistemi Diyagramı.....	12
Şekil2.2 Tork HızKarakteristiği.....	14
Şekil 2.3 Fırçasız Doğru Akım Motorunun Stator Ve Rotor Yapısı [20]	16
Şekil 2.4 Örnek Bir Fırçasız Doğru Akım Motoru İç Yapısı [17].....	16
Şekil 2.5 FDAM Stator Sargıları	18
Şekil 2.6 FDAM' larının Rotor Tipleri.....	18
Şekil 2.7 Rotor Konumuna Bağlı Moment Değişimi.....	19
Şekil 2.8 Stator Sargıları	19
Şekil 2.9 FDAM' nun Üç Faz Sargılarının Evirici Üzerinden Beslenmesi [1].....	20
Şekil2.10 Hall SensörününTetikleme Sonuçları	21
Şekil2.11 Tam Dalga Motor Sürücü.....	22
Şekil2.12 Endüklenen Gerilim Hall Sensörü İlişkisi	23
Şekil 2.13 DC Motor Bir Faz Eşdeğer Devresi	23
Şekil 2.14 Veri İşleme.....	25
Şekil 2.15 Örnek Pwm Sinyali	27
Şekil 2.16 PI Denetleyici İle Denetlenen SistemBlok Diyagramı	28
Şekil 2.17 Evirici Birimleri.....	29
Şekil 2.18 Bir Fazlı Evirici Devresi	29
Şekil 2.19 Üç Fazlı Evirici Devresi	30
Şekil2.20 Hall Etkisi.....	31
Şekil2.21 Hall Sensör, Yarı İletken Anahtarların, Sargıların Durumu	31
Şekil 3.1 Sistemin Genel İşleyişi Blok Diyagramı	32
Şekil 3.2 SürücüKartı Boyutlandırması	33
Şekil 3.3 Arduino Uno Bileşenleri.....	34
Şekil 3.4 Analog Giriş- Sıcaklık Grafiği.....	35
Şekil 3.5 PI Denetleyici İle Matlab Simülasyonu.....	36
Şekil 3.6 PWM Çıkışı- Hata Sinyali Grafiği	37

Şekil 3.7 Pwm Doluluk - Boşluk Oranı [29].....	37
Şekil 3.8 Tek Kapalı Çevrim Ve Hız Geri Beslemeli Model	40
Şekil 3.9 IGBT Modülün İç Elektriksel Şeması[30]	41
Şekil 3.10 Pwm Çalışma Frekansı-Bootstrap Kapasitesi Seçimi Garfiği	43
Şekil 3.11 Hava Akışı-Hava Basıncı İlişkisi	44
Şekil 3.12 Hava Akışı-Hava Basıncı Çalışma Noktaları Grafiği.....	47
Şekil 3.13 Güç Akışı Blok Diyagramı	47
Şekil 3.14 Hall- Etkili Sensör İç Yapısı.....	49
Şekil 3.15 Yazılıma Ait Akış Algoritması.....	50
Şekil 4.1 Fırçasız Dc Motorun Hız-Kontrol Denetimi Modülü	54
Şekil 4.2 Deney 1 Sistem Kararlılık Grafiği	54
Şekil 4.3 Opto-Kuplör Devre Şeması	56
Şekil 4.4 Boşluk-Doluluk Oranı %25 İçin Opto-Kuplör Çalışması	58
Şekil 4.5 Boşluk-Doluluk Oranı %50 İçin Opto-Kuplör Çalışması	58
Şekil 4.6 Boşluk-Doluluk Oranı %75 İçin Opto-Kuplör Çalışması	59
Şekil 4.7 Boşluk-Doluluk Oranı %100 İçin Opto-Kuplör Çalışması	59
Şekil 5.1 Sistemin Genel İşleyişi Blok Diyagramı	60
Şekil 5.2 Arduino Potansiyometre Bağlantısı	61
Şekil 5.3 10 Bitlik ADC Pot Okuma.....	61
Şekil 5.4 Yazılımsal PID.....	62
Şekil 5.5 Hall Sensöründen Hız Eldesi	63
Şekil 5.6 Evirici Modül Yapısı ve Bağlantıları.....	64
Şekil 5.7 Evirici Modülü 23. ve 21. Pinlerin Kısa Devresi.....	65
Şekil 5.8 Hall Sensörleri, Yarı İletken Anahtarların, Sargıların Durumları	66
Şekil 5.9 Motor Ve Motor Sürücüsü Bağlantısı	70
Şekil 5.10 Baskı Devre Kartının Bölümleri	71
Şekil 5.11 Kartın Üstten Görünüşü ve Heatsink Bağlı Hali.....	72

Şekil6.1 Deney 1 SistemKararlılık Grafiği	74
Şekil6.2 Deney 2 SistemKararlılık Grafiği	74
Şekil6.3 Deney 3 SistemKararlılık Grafiği	75
Şekil6.4 Deney 4 SistemKararlılık Grafiği	75
Şekil6.5 Sıcaklık Değerlerine Eşdeğer Olan Girişler.....	76
Şekil6.6 Doluluk Oranı %10 Olan PWM Sinyali	76
Şekil6.7 Eviricinin Faz-Nörl Çıkışları	77
Şekil6.8 Motor Bağlantısında Elde Edilen Trapezoidal Sinyal	78
Şekil 6.9 Motorun Tam Tur Dönmesiyle Hall Sensörden Elde Edilen Lojik Bilgi.....	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Kısaltmalardaki Rakamların Anlamı	6
Çizelge 1.2 Kısaltmalardaki 1. 2. 3. Ve 4. Rakamların Anlamı	8
Çizelge 1.3 İş Paketleri	
9 Çizelge 3.1 IR Modülünün Çalışma Değerleri	39
Çizelge 3.2 FDAM Parametreleri	42
Çizelge 3.3 Anahtarlama Tablosu	43
Çizelge 3.4 Hava Akışı-Hava Basıncı Çalışma Noktaları	45
Çizelge 3.5 Malezeme Listesi	51
Çizelge 4.1 Simülasyon Çalışmasında Kullanılan Parametreler	53
Çizelge 4.2 Opto-Kuplör Parametreleri	57
Çizelge 5.1 Aktif Çalışma İçin Gerekli Parametreler	65
Çizelge 6.1 Çalışma Noktası, Çekilen Akım, Giriş Gücü, Hız	79

GİRİŞ

1.1. Genel Bilgiler

Bu bölümde fırçasız doğru akım motoru kullanılarak farklı boyutlardaki motor soğutma sistemi radyatör fanlarının kontrolü ele alınmıştır ve bu sistem için motor sürücü tasarlanmıştır. Fan hızı kontrolü, değişken sıcaklığa bağlı olarak denetleyici sayesinde en verimli hale getirilmiştir. Araç sisteminde en önemli parçalardan biri olan motor, tasarladığımız sistem sayesinde daha verimli çalışmaya ve daha uzun ömre sahip olacaktır.

Bu bölümde yer alan diğer konu başlıkları literatür araştırması, özgünlük, yaygın etki, standartlar ve çalışma takvimidir.

1.2. Literatür Araştırması

Bu başlık adı altında fırçasız doğru akım motorunun kullanıldığı anları içeren konular ve motor hız kontrolünü çeşitli yöntemler uygulanarak yazılan tezler, makaleler ve hayata geçirilen projelerin içeriği kısaca anlatılarak literatür araştırmasına yer verilmiştir.

H. Kahveci, “Doğrudan Sürürlü Elektrikli Araçlar İçin Bulanık Mantık Tabanlı Elektronik Diferansiyel Sisteminin Gerçeklenmesi ” isimli doktora tezi çalışmasında elektrikli araçlar için elektronik diferansiyel sistemi tasarlamıştır. Çalışmasında yüksek momentli fırçasız doğru akım motorunu bulanık mantık kullanarak denetlemiştir. FDAM ve sürücülerine dair yazılımsal ve donanımsal birçok yapıya yer veren bu literatür tasarımı için gerekli olan çalışma prensipleri için geniş bir bilgi sunmaktadır. [1]

Yakın zamanda fırçasız doğru akım motoru ile ilgili yapılan [2] projesi hall sensörler ile fırçasız doğru akım motorunun kontrolünü gerçekleştirmiştir. Motor sürücüsü ve hall sensörlerden gelen geri besleme sinyallerini okuyan Microchip dsPIC30F4011 çipi ile denetlenmiştir. Bu proje için üç fazlı altı kollu anahtarlama yapan inverter devresine bağlı olan çip motorun kontrolü için önemli bir parça olmuştur. Konvansiyonel kontrol yöntemi sadece 60° güç açısına sahip bir torka erişir. Bu çalışmada 90°'lik güç açısı için maksimum tork elde edilmiştir. Bu sayede güç tüketimi azaltılmış, tork artırılmış ve dönüş hızı artmıştır. Sonuç olarak enerji tasarrufu sağlayarak faydalı bir proje olmuştur.

Fırçasız doğru akım motorlarında komutasyon aralığında üretilen tork dalgalanması bir dezavantajdır. [3] makalesinde altı anahtarlı üç fazlı eviricili motor sürücülerde faz değişimi nedeniyle oluşan tork dalgalanmalarını dört çeşit PWM modeli ile sunan bir analizdir.

Son yıllarda elektrikli araçlarda in Wheel (tekerlekli) motorların uygulamaları büyük ilgi gördü. Fırçasız doğru akım motorları da bu araçlarda yaygın olarak var. [4] çalışmada elektrikli araçlar için kullanılan in Wheel fırçasız doğru akım motoru sürücüleri konum sensörlü mod veya sensörsüz mod olarak çift modlu olarak çalışma önerisi yapıldı. Motor sürücüsü için geliştirilen çift mod konum sensörü modundayken konum sensörü bozulduğunda veya sinyal kablosu koptuğunda ikinci mod olan sensörsüz moda geçiş sağlayarak motor sürücüsünün çalışma güvenliğini sağlamış olur.

Fırçasız doğru akım motorları birçok endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılır. [5] makalesinde fırçasız doğru akım motorunun bulanık kümeler ve kurallar kullanan motor sürücüsü tasarlanmıştır. PID denetleyicisi kullanarak ve adaptif sinir tabanlı bulanık kontrol ile fırçasız doğru akım motorunun kontrolü geliştirilmiştir. Elektrikli araçların uzun yolda kullanımı pek mümkün değildir. Bu çalışmada %50 oranında bir mesafe kat edilerek rejeneratif şarj sistemiyle çözümlenmeye çalışılmıştır.

[6] makalesi fırçasız doğru akım motoru hız kontrolü için bulanık kontrollü ve hız sensörsüz yaklaşımı öneriyor. Bu çalışmada bozulan yük torkunu düzeltmek için yük gözlemcisi kullanılmıştır. Böylelikle hız sensörsüz bir çözüm sunmuştur. Yük gözlemcisi mekanik rotor atalet sabitini ve sürtünme katsayısını giriş olarak kullanmıştır. Bulanık denetleyici ve PI denetleyicikarşılaştırılmıştır.

Fırçasız doğru akım motorları kontrolünde PWM tekniği kullanılır. [7] çalışmasında farklı PWM modları kullanılarak tork dalgalanması analizine odaklanılmıştır.

Fırçasız doğru akım motorunun tork dalgalanmasını azaltmak için yeni bir yöntem olarak kullanılan hall sensör sinyalinin geciktirilmesine dayanan bir yöntem [8] çalışmasında yer almaktadır. Ek elektrikli cihazlara gerek kalmadan kullanılan bu yöntem motor parametrelerini bilerek yapılır.

Motorun hız- tork çalışma bölgeleri incelenerek, kapalı çevrim ile hız kontrolü sağlanan bu çalışmada, geniş bir sürücü modellemesi anlatılmıştır. Ek olarak olağan dışı

durum incelemeleri çalışmayı ayıran çalışmanın ek özelliklerindendir. Aşırı akım, düşük gerilim ve yüksek sıcaklık durumlarının analizlerine bu çalışma da yer verilmiştir. [9]

1998 yılında KTÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliğinde Saffet KAHVECİ, Prof. Dr. Sefa AKPINAR danışmanlığında yüksek lisans tezi olarak " Fırçasız Doğru Akım Motorunun Programlanabilir Lojik Kontrolörle Denetimi" isimli tezini yayınlamıştır. Saffet KAHVECİ, bu tezinde fırçasız doğru akımın kontrolü için temel sorunun; stator sargılarından geçirilecek olan akımın anahtarlanması olarak ele almıştır. Bu anahtarlama uygulamasını PLC ile yapmıştır ve bu uygulama ayırık zamanlı anahtarlama ve çakışık zamanlı anahtarlama yöntemleri kullanmıştır. Ayırık zamanlı anahtarlama yönteminde anahtarların kapalı kalma süreleri (ölü zaman) kısaldıkça motorun hızının arttığını gözlemlemiştir. 0.2 sn'lik ölü zamanda motor hızı 80 d/d olurken, 0.3 sn'lik ölü zamanda motor hızı 36 d/d olmuştur. Çakışık zamanlı anahtarlama yönteminde ise motorun düzgün hareket etmesi sağlanamamıştır. Bunun sebebini ise; çakışık zamanlı anahtarlama, rotor hareketlerinde oluşan osilasyon olarak göstermiştir. Bu tasarım sonucunda yazar, genel olarak daha önceki fırçasız doğru akım motoru kontrol uygulamalarında kullanılan konum algılayıcılar olmadan PLC ile yapılan kontrolün de başarılı olabileceğini göstermiştir, ancak PLC kullanılan uygulamalarda ayırık zamanlı anahtarlamanın kontrol için daha uygun olacağını vurgulamıştır. [10]

"PIC tabanlı Fırçasız Doğru Akım Motor Sürücü'nün Tasarımı" adlı makale 2008 yılında Selçuk Üniversitesi öğretim üyelerinden Doç. Dr. Ömer Aydoğdu tarafından yayınlanmıştır. Bu projede PIC tabanlı bir mikroişlemciyle DC motor sürücüsü tasarımı yapılmıştır. Burada öne çıkan iki özellik bulunmaktadır. Birincisi; güç devresi ile kontrol devresi arasında optik izolatörler kullanılarak güç devresinin kontrol devresi üzerinde oluşturabileceği olumsuzluklar giderilmiştir. İkincisi ise sürücü sistemi için kullanılan elemanların yaygın ve maliyetinin de bir o kadar düşük olmasıdır. Sürücü sisteminin tasarlanması iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Biri donanımın tasarlanmasıdır. Diğer de kontrol yazılımının yapılmasıdır. Donanımın tasarımı da iki aşamada gerçekleşmiştir. Giriş Bölümünün Tasarlanması ve Çıkış Bölümünün Tasarlanması. Giriş bölümünde mikrodenetleyicinin A ve B portları giriş portları olarak belirlenmiştir. Çıkış bölümünde de çıkışın optikizolatörle yalıtımı ve MOSFET sürücülerinin bağlantısı şeklindedir. Yalıtım ile farklı gerilimlerde çalışan elemanların birbirinden yalıtılarak daha sağlıklı çalışmaları amaçlanmıştır. Daha sonra kontrol yazılımı PIC programlama yazılımı kullanılarak

yapılmıştır. Bu program ASM dili ile gerçekleştirilmiştir. Bu yazılımı yapabilmek için projede kullanılan motorun özellikleri tespit edilmiştir. Bu bilgiler ışığında FDAM'ı kontrol edecek yazılım tasarlanmış olur. Son aşama olan tasarlanan devrenin laboratuvar ortamında test edilip doğru sonuçlar alınmasıyla proje sonlanmıştır.[11]

Bu tezde ise PIC denetleyicisi kullanılmış ve güç mosfeti ile sürücü hazırlanmıştır. Yaptığımız çalışmanın paraleli olması nedeniyle ilgi çekici bir çalışmadır. Temel topolojiler aynı olsa da donanımsal olarak farklılıklar vardır. [12]

Evirici tasarımı hakkında geniş veri yelpazesine sahip bu çalışma, özellikle evirici seçimi ve analizi alanında bizlere yol göstermiştir. Çalışma görsel olarak anahtarlama sonuçlarını sunduğu için eviricilerin çalışma mantığını kavramada yardımcı niteliktedir.[13]

1.3. Özgünlük

Radyatör fanlarında fırçalı doğru akım motoru yerine fırçasız doğru akım motoru kullanılması yeni bir teknoloji olup tüm araçlarda kullanılmaya başlanmıştır. Fırçasız doğru akım motorlarının fırçalı doğru akım motorlarına kıyasla birçok avantajları vardır. Bunlar sessiz oluşu, daha yüksek torklarda ve daha yüksek verimde çalışıyor olması, uzun ömürlü olması gibi avantajlardır.

Projemiz bu konudaki ilk çalışmalardan olacağı için Türkiye Otomotiv Sanayi'nde spesifik bir çözüm sunacaktır. Bu alandaki çalışmaların yok denecek kadar az oluşu ve talebin yüksek oluşu projemizin önemli artılarındandır. Fan kontrolünü mikrodenetleyici ve PI denetleyici gibi sistem bileşenleriyle gerektiği hızda çalıştırmak projemizin özgünlük unsurlarından bir diğeridir.

1.4. Yaygın Etki

Teknolojik ilerlemelerin getirdiği refah seviyesi artışı otomotiv sanayinde motorun daha verimli çalışmasını istemektedir. Bu proje ile araçların motor soğutma sistemi sıcaklık verisine göre çalışarak motorun soğuması sağlanmış, motorun verimini olumsuz yönde etkileyen sıcaklık artışı engellenmiştir. Böylelikle araç sistemindeki en önemli parçalardan biri olan motorun ömrü uzatılmış, çalışması rahatlatılmıştır. Otomotiv satışlarında motor verimi aranan bir özellik olduğundan yerli üretimde yapmış olduğumuz

proje önem kazanmaktadır. Bu proje yerli üretimi sayesinde uluslararası pazarda rekabet gücümüze katkı sağlayacaktır.

Otomotiv Distribütörleri Derneği'nin (ODD) verilerine göre Türkiye Otomotiv pazarında 2016 yılı ilk 6 ayında Otomobil ve Hafif Ticari Araç toplam pazarı 438,817 adet oldu. 432,550 adet olan 2015 yılı ilk 6 ayına göre otomobil ve hafif ticari araç pazarı yüzde 1,45 oranında arttı [14]. Bu da gösteriyor ki otomobil ve yan sanayi ürünleri her geçen yıl artarak devam etmektedir. Aynı zamanda TÜİK verilerine göre 2016 yılında toplam taşıt sayısı 20456556 ulaşmıştır. Yine TÜİK verilerine göre 2014 yılında yaşanan toplam kaza sayısı 1199010 adettir. [15] Yapılan kazaların büyük bir bölümü motor kısmında hasara sebep olmakta ve genel olarak en dış kısımda bulunan radyatör hasar görmektedir. Rakamlardan da görüldüğü üzere çok ciddi sayıda ürün ihtiyacı doğmaktadır. En önemli amacımız düşük maliyetli, yüksek kararlılıkta ve özgün yenilikleri içeren motor sürücüsü yapmaktır. Türkiye'de yeni nesil radyatör fanı alanında çalışan yerli firma yok denecek kadar az olup ürün ihtiyacının da sürekli artış göstermesi çok büyük bir talep boşluğuna neden olmaktadır. Bu sebeptendir ki ilk aşamada ürünümüzü seri üretim aşamasına getirebilecek düzeye eriştirirsek, %30'luk bir pazar payı hedeflemekteyiz. Prototip ürünümüzün kalitesinin ve düşük fiyatının kanıtlanması ardından gerekli sanayi kuruluşları ile temas sağlanıp anlaşma yapılması ürünün satışındaki temel unsur olacaktır. Yurtdışında son yıllarda sektör oldukça geniş bir paya sahiptir. Biz de öncelikle yerel satış, ilerleyen safalarda ise uluslararası satışa amaçlamaktayız.

Otomotiv sanayinde bu proje gerekli olup kesin bir çözüm sunmaktadır. Bu sebeple gerçekleştirmiş olduğumuz proje yayın çıkarma potansiyeline sahiptir.

1.5. Standartlar

Elektrik Motorlarının standartlarını belirleyen ve bunları yayınlayan iki temel kurum IEC ve NEMA'dır. IEC (International Electrotechnical Commission) Avrupa tabanlı bir kuruluş iken NEMA (National Electrical Manufacturers Association) Amerikan standartları için çalışmaktadır. Aşağıda açıklanan bilgiler IEC standartlarına dayanarak hazırlanmıştır. NEMA standartlarının IEC standartlarına çevrimi veya IEC standartlarındaki karşılıkları için değişik kaynaklardan araştırma yapılmalıdır. Türkiye'de ise konu ile ilgili düzenleme Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından IEC'ye dayanarak yapılmıştır.

IEC standartlarının 34-6 bölümü elektrik motorlarının soğutma şekline göre ayrılmıştır. International Cooling kısaltması olan IC harfeleri ile ifade edilen standartlarda kısaltmayı iki haneli rakamlar takip etmiştir. Birincisi soğutma devresinin düzenlemesini, ikincisi ise soğutucunun dolaşımını sağlayan gücün beslenme yöntemini gösterir.

Çizelge 1.1’ de ilk ve ikinci rakamların anlamları verilmiştir.

Çizelge 1.1 Kısaltmalar daki Rakamların Anlamı

	İLK RAKAMIN ANLAMI	İKİNCİ RAKAMIN ANLAMI
0	Serbest dolaşım	Serbest yayılım
1	Giriş Borulu havalandırma	Kendinden dolaşimli
2	Çıkış Borulu havalandırma	Havalandırma, motordan ayrılmaz olan ve ayrı bir mile bağlanmış aygıt ile sağlanmış
3	Giriş çıkış borulu havalandırma	Havalandırma, motor üzerine takılmış bağımlı bir düzen ile sağlanmış
4	Gövde yüzeyinden soğutma.	Kullanılmıyor
5	Çevreleyen ortam kullanılarak, motoru, motordan ayrılmaz bir soğutucu ile soğutma	Havalandırma, motordan ayrılmaz olan bağımsız bir düzen ile sağlanmış
6	Çevreleyen ortam kullanılarak, motoru, motor üzerine takılmış bir aygıt ile soğutma	Havalandırma, motorun üzerine takılmış bağımsız bir düzen ile sağlanmış
7	Çevreleyen ortam kullanılmadan, motoru, motordan ayrılmaz bir aygıt ile soğutma	Havalandırma, motordan bağımsız ve ayrı bir aygıt ile sağlanmış
8	Çevreleyen ortam kullanılmadan, motoru, motor üzerine takılmış bir aygıt ile soğutma	Havalandırma, bağıl yer değiştirme ile sağlanmış
9	Bağımsız monte edilmiş soğutma aygıtı ile havalandırma	Bağımsız monte edilmiş soğutma aygıtı ile havalandırma

Bunlara bazı örnekler verecek olursak ;

IC 01 ifadesi NEMA'nın açık dizayn (open design) karşılığıdır. IC 40 ifadesi NEMA'nın TENV (Totally Enclosed Non-Ventilated) karşılığıdır. IC 41 ifadesi NEMA'nın TEFC (Totally Enclosed Fan Cooled) karşılığıdır. IC 48 ifadesi NEMA'nın TEAO (Totally Enclosed Over) karşılığıdır.

Motorların yapım (inşa) tiplerinin ve kurma (montaj) düzenlemelerinin çeşitlerinin sınıflandırılması IEC 34 – 7 bölümünde yayınlanmıştır ve kolaylık açısından IM (International Mounting) olarak kısaltılmıştır. Bu bölümün simgelemesi iki ayrı kodlamadan oluşmuştur. Kod I : Yalnızca yan kapaklardan yataklanmış ve tek mil çıkıntılı motorları kapsamaktadır. B harfi yatay milli motorları ifade ederken, V harfi dikey motorları simgelemek için seçilmiştir. Bu tip motorlar (yan kapaklardan yataklanmış ve tek mil çıkıntılı) B veya V harflerini takip eden bir sayı ile gösterilir. En çok kullanılan bazıları aşağıda belirtilmiştir. Kod II : Bu kısım genel ve özel kullanım için tasarlanmış tüm elektrik motorlarını kapsamaktadır. IM harflerini takip eden 4 adet rakam ile sınıflandırılmıştır. Rakamların anlamları ise aşağıda belirtilmiştir. 1. rakam Yapım tipinin sınıfını gösterir. 2. ve 3. rakam Kurulma (montaj) düzenini gösterir. 4. rakam Mil uzantısını gösterir. Çizelge 1.2' de 1. 2. 3. ve 4. rakamların açıklamaları verilmiştir.

Çizelge 1.2 Kısaltmalarındaki 1.2.3. Ve 4. Rakamların Anlamı

1. RAKAM	2. ve 3. RAKAM	4. RAKAM
1 - Yalnızca yan kapak yataklı ayaklı motorlar	Pek çok kombinasyon mevcut olduğundan detaya girilmemiştir.	0 - Mil uzantısı yok
2 - Yalnızca yan kapak yataklı ayak ve flanş üzerine kurulu makineler		1 - Silindirik bir tek mil uzantısı
3 - Flanşı yan kapak üzerinde olan yalnızca yan kapak yataklı ve flanş üzerine kurulu makineler		2 - Silindirik iki mil uzantısı
4 - Flanşı gövde üzerinde olan yalnızca yataklı flanşı üzerine kurulu makineler		3 - Konik bir tek mil uzantısı
5 - Yataksız makineler		4 - Konik iki mil uzantısı
6 - Yan kapaklı ve ayaklı yataklı makineler		5 - Flanşlı bir tek mil uzantısı
7 - Yalnızca ayaklı yataklı makineler		6 - Flanşlı iki mil uzantısı
8 - 1-4 sayılarında kapsanma yan düşey makineler		7 - D-ucu uzantısı flaşlı N-ucu uzantısı silindirik
9 - Özel kurulma düzenli makineler		8 - Diğer tüm mil uzantısı

J631_201311: Bu SAE Standardı, çeşitli radyatör ve radyatör göbeği yapımının yanı sıra çeşitli radyatör bağlantılı aksesuarlar için ortak kullanımda standart terminolojiyi belgelemektedir.

J164_201207: Bu SAE Standardı öncelikli olarak binek otomobil ve kamyon uygulaması için geliştirilmiştir, ancak deniz, endüstriyel ve benzeri uygulamalarda kullanılabilir.

1.6. Çalışma Takvimi

İş-zaman grafiği çizelge 1.1’ de verilmiştir. Yapılacak olan işler çizelge 1.3 ‘ te iş paketlerine ayrılarak açıklanmıştır.

Çizelge 1.3 İş Paketleri

İş paketleri	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN
İş paketi 1									
İş paketi 2									
İş paketi 3									
İş paketi 4									
İş paketi 5									
İş paketi 6									

İş Paket 1: Aktif olarak kullanılan radyatör sistemleri ve bu radyatörlerde ki soğutma fanlarının yapısı incelenecektir. FDAM’ u ve bunların sürücüleri incelenecektir. Literatür taraması yapılarak raporlanacaktır.

İş Paket 2: Sistem blok diyagramları oluşturulacaktır. Blok diyagramlara göre gerekli malzemeler belirlenecektir. Seçilen güç, akım ve gerilim değerleri için malzeme seçimi yapılacaktır. Giriş-çıkış sayı ve işlemleri belirlenerek mikrodenetleyici seçilecektir. Malzemelerin fiyatı belirlenecek veproforma temini sağlanacaktır.

İş Paket 3: Matlab\Simulink ortamında bileşenlerin ayrı ayrı modellenmesi sağlanacaktır. (Motor, evirici, geri besleme birimi, PI denetleyici..) Farklı hız referanslarında sistemin test edilmesi ve grafiklerin eldesi sağlanacaktır. Tasarım kitapçığı oluşturulacaktır.

İş Paket 4: Malzemeler tedarik edilecektir. Temin edilen malzemelerin ilk testleri yapılarak sağlık durumları kontrol edilecektir. Sisteme ait elektronik kartın paket programlar kullanılarak profesyonel baskı devre ile basılması sağlanacaktır. Bileşenlerin tamamının bir araya getirilerek ilk test yapılacaktır.

İş Paket 5: Farklı hız referanslarında sistem test edilerek grafikleri oluşturulup yorumlanacaktır. Deneysel sonuç grafikleri ile benzetim sonuçlarının karşılaştırılması ve yorumlanması sağlanacaktır.

İş Paket 6: Projenin başarıya ulaşması ile istenen formatta sonuç raporu hazırlanacaktır.

2. TEORİK ALTYAPI

2.1. Genel Bilgiler

Projede araç motoru soğutma sisteminde radyatör fanının sıcaklık verisine göre hız kontrolü yapılmıştır. Yeni nesil araçlarda kullanılan ve projemizde yer alan fırçasız doğru akım motorunun sürülmesi için motor sürücü tasarımı yapılmış olup kontrol sinyaliye göre fırçasız doğru akım motoruna dönüş hızı bilgisi iletilmiştir. Fırçasız doğru akım motorunun dönüş hızı hall sensör tarafından algılanıp geri besleme olarak referans girişle mikrodenetleyicide PI denetleyici sayesinde karşılaştırılıp sıfır hata ile uygun hız verisi sıcaklık derecesine göre belirlenmiştir. Bu sayede motor soğutması için gereken fan dönüş hızı sağlanmıştır. Fanın dönüş hızı ayarı, enerji sarfiyatını önlemiştir.

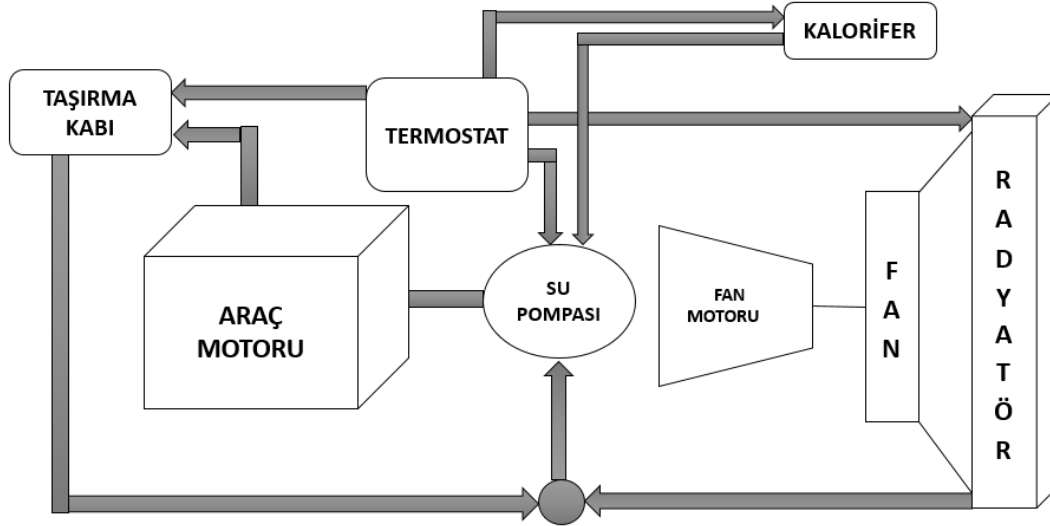
2.2. Otomobil Soğutma Sistemi

Araç motorlarında yanma odası içindeki hava yakıt karışımı yandığında ortaya çıkan enerjinin bir kısmı pistonların hareketi ile mekanik enerjiye çevrilir. Bu enerji sürtünme sebebiyle ısınmaya sebep olur, yaklaşık olarak bu enerjinin % 30'u iş olarak kullanılır ve geriye kalan %70'lik kısım ısı kayıp ve sürtünme kayıpları olarak harcanmaktadır. Oluşan bu ısı motor aksamına zarar vermeden uzaklaştırılmalıdır. Isının bir kısmı egzoz sisteminden dışarıya aktarılır. Geriye kalan kısmı soğutma sistemi üstlenir.

Su soğutmalı motorlarda motor kısmında su kanalları bulunur. Soğutma suyu bu kanallarda dolaşarak oluşan sıcaklığın devir daimini sağlar. Bu sistemi şöyle özetleyebiliriz; motor su kanallarında dolaşan suyun sıcaklığı arttığında pompa vasıtası ile su radyatöre gönderilir. Radyatör aksamından geçen su aracın hızıyla ve fan vasıtasıyla soğutulur motor bloğuna geri döner. Bu döngü gerektiğinde tekrarlanarak motor soğutması sağlanmış olur.

Aracın başlangıçta çalıştığı durumda motorun belirli bir sıcaklıkta olması gerekmektedir. Sonuçta motor yakıtın yanması sonucu çalışan bir bölümdür. Bu durumda motor soğutma sistemine çoğunlukla gerek yoktur. Bu sebeple kanallardaki su termostat sayesinde radyatöre uğramadan dolaşır. Gerektiği zamanda termostat radyatöre giden kanalı açarak su soğutmasını sağlar.

Bu bölümde soğutma sisteminin kısımları da incelenmiştir. Aşağıda otomobil soğutma sisteminin kısımları olan su kanalları, su pompası, termostat, müşir, radyatör ve fan aksanları açıklanmıştır. Şekil 2.1’ de otomobil soğutma sistemi diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.1 Otomobil Soğutma Sistemi Diyagramı

Su kanalları, motor soğutma sisteminde soğutma işlemi için gerekli olan suyun dolaştığı kanallardır. Motorun her tarafını sararak motorda oluşan sıcaklığın suya emilimi bu kısımlarda sağlanır. Daha sonra radyatöre kadar ulaşan kanallar soğutma işleminin işleyişinde önemli bir kısımdır. Bu kanallarda dolaşan suyun temiz ve kireçsiz olması gerekir. Aksi durumda kanalların işlevinde aksamalar meydana gelir. Ayrıca don olan bölgelerde kanallarda dolaşan suya antifiriz eklenmeli suyun donarak kanallara zarar vermesi önlenmelidir.

Su pompası, soğutma suyunun sürekli olarak kanallarda dönmesini ve radyatöre gönderilmesini sağlar. Pompalar genellikle krank şaftından bir kayış ile tahrik alır. Su pompaları hacimsel pompalar ve dinamik pompalar olmak üzere ikiye ayrılır. Günümüz otomotiv endüstrisinde dinamik pompaların bir çeşidi olan radyal akışlı pompalar kullanılır.

Termostat, motor ile radyatör arasında bulunan, soğutma suyunun akışında görev alan elemandır. Aracı ilk çalıştırdığımızda gerekli olan motor sıcaklığını termostat radyatöre giden kanalı tıkararak motorun soğumasını engellemiş olur. Böylelikle motor çabucak gerekli olan sıcaklık değerine gelmiş olur. Daha sonra termostat daha fazla artan sıcaklığa duyarlı olduğu için tıkalı olan radyatör kanalını açarak motor soğutma işlemini

başlatmış olur. Termostat sayesinde açılan kanalda radyatöre ulaşan su soğuyarak motora iletilir. Bu işlem yeterli olmadığında, hararet yükseldiğinde devreye müşir elemanı girer.

Müşir, açık kapalı mantığı ile çalışarak hararet yükselmesinde radyatörün yetmediği durumda fanı devreye sokarak soğutma sistemine katkı sağlar.

Radyatör, çoğu araçta ön kısımda bulunan soğutma suyundaki ısının aracın önünden giren havaya aktarıldığı bölümdür. Radyatör kalınlığı önemli bir unsurdur. Radyatör soğutma işlemini yapısında bulunan çok sayıdaki kanatçık sayesinde kısa sürede gerçekleştirir. Yukarıdan aşağıya kanatçıklarda soğuyarak ilerleyen su, su kanalında toplanarak tekrardan motora iletilir.

Fan, genellikle hararetin 90 üzerine çıktığında, yani radyatörün yetersiz kaldığı durumda müşir vasıtasıyla devreye giren sistem elemanıdır. Havanın radyatör üzerinden emilmesini sağlar. Elektrikli ve krank şaftından tahrik alarak çalışan fanlar vardır. Fan genellikle düşük araç hızlarında ya da motor rölanti devrinde çalışırken devrededir. Yüksek hızlarda aracın önünden giren hava çoğu zaman motor soğutma suyunun soğumasında yeterlidir. Böyle durumlarda fana gerek duyulmaz. Hafif ticari ve binek araçlarda genellikle elektrikli fanlar kullanılır. Her fana ait basınç debi grafiği vardır. Fan verimi eğrisi bu grafik üzerinde verilir. Fan verimi aşağıdaki denklemde verilmiştir.

$$n_f = \frac{\Delta P \cdot Q}{N} \quad (2.1)$$

n_f : Fan Verimi

ΔP : Fanda oluşan basınç farkı [Pa], [N/m²]

Q : Hava debisi [m³ /s]

N : Fan mil gücü [W]

2.3. Fırçasız Doğru Akım Motoru (FDAM)

Fırçasız doğru akım motorları günümüzde yaygın olarak endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründe, tıpta, uzay ve bilgisayar teknolojisinde, ev ürünlerinde fırçasız doğru akım motorlarına sıkça rastlanmaktadır. Örneğin bilgisayar için CD/DVD oynatıcılarında ve soğutma fanlarında, ısıtma soğutma ve havalandırma sistemlerinde, fan ve pompa motorlarında fırçasız doğru akım motorlarını görebiliriz.

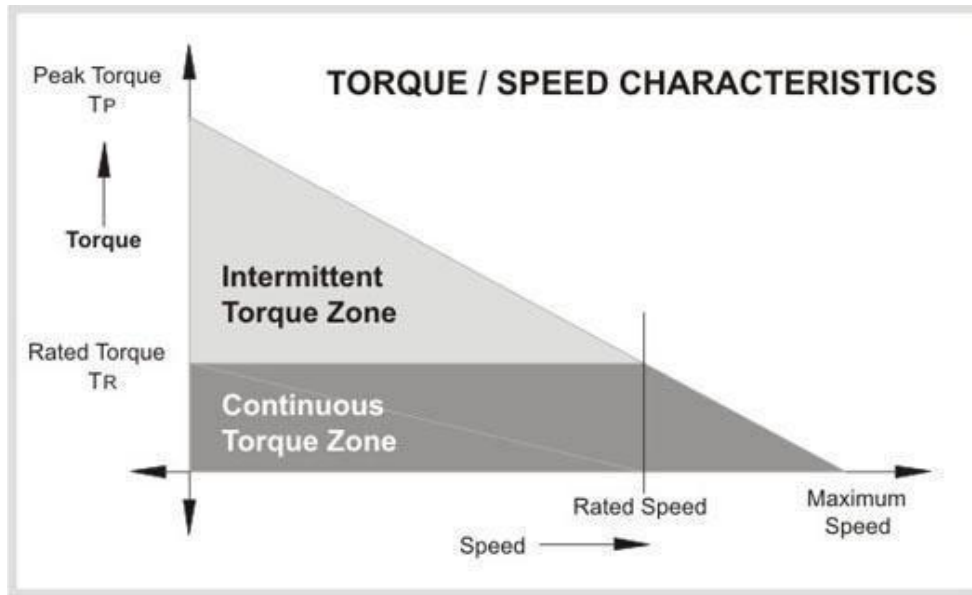
Teknolojinin ilerlemesiyle sıkça rastlanan fırçasız doğru akım motorları için gerekli olan motor sürücü devreleri de önem kazanmaktadır.[16]

Fırçasız motor denildiğinde genel olarak 2 tip motorla karşılaşılmaktadır. Bunlardan ilki bizim de kullandığımız Fırçasız Doğru Akım Motoru ve diğeri ise Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorlardır. Bu iki motor arasında bazı farklar vardır:

- FDAM’ da çalışma esnasında statorda indüklenen gerilim trapezoidal iken SMSM’ de bu işaret sinüstür.
- FDAM’ da stator sargıları toplu iken SMSM’ de dağıtılmış tipte sarımlar mevcuttur.
- FDAM’ da basit konum algılama yeterlidir. SMSM’ de ise çok daha hassas bir konum algılama ihtiyacı vardır. Bu da daha karmaşık bir donanım ve yazılıma karşılık gelir. Bu durum maliyeti artırmaktadır.

FDAM motorların fırçasız olarak adlandırılmasını sağlayan şey motorlarda fırça-kollektör çifti yerine elektronik komutasyon yapılmasıdır. Tetik leme sıraları değişerek komutasyon gerçekleştirilir. Aynı zamanda Doğru Akım olarak adlandırılmasının sebebi ise moment- hız ilişkisinin diğer Doğru Akım Motorlarına benzer olması ve kaynaktan tek yönlü çekilen akımdır.

Aşağıda gösterilen şekilde hız- moment ilişkisi açıkça verilmiştir.



Şekil 2.2 Tork Hız Karakteristiği

FDAM'ın aynı zamanda adım motorları ile de kıyası yapılabilir. Sürekli çalışma gerektirmeyen geri beslemesiz yüksek doğrulukta konum denetimi gereken yerlerde adım motoru kullanılırken sürekli çalışma ve hemen hemen sabit moment gereken yerlerde ise FDAM kullanılabilir.

Fırçasız doğru akım motorlarının stator ve rotor kısmı bir AC makinaya benzer ve yarı iletken malzemelerden oluşan inverter ve rotor pozisyon sensörlerin bir araya gelmesiyle oluşur. Fırçasız doğru akım motorları bir nevi senkron motorlardır. DC gerilim olarak daha çok 24 V kullanılır. Hız kontrolünü hassas bir şekilde yaptıkları için tercih edilirler. Fırçaların olmayışı nedeniyle kayıplar söz konusu değildir. Ayrıca fırça ve kollektör için olan bakım da gerekli değildir. Tehlike arz eden ortamlarda kullanılabilme ve küçük hacimli oluşlarından kaynaklı daha az bakır kullanımı özelliği fırçasız doğru akım motorlarına ilgiyi artırır. Silindirik olan rotor bölümü sayesinde titreşimler daha azdır. İvmelenmenin daha kısa sürede olması için rotor çapının küçültülmesi gerekir. Bu sebeptendaha güçlü mıknatıslar kullanılmalıdır.

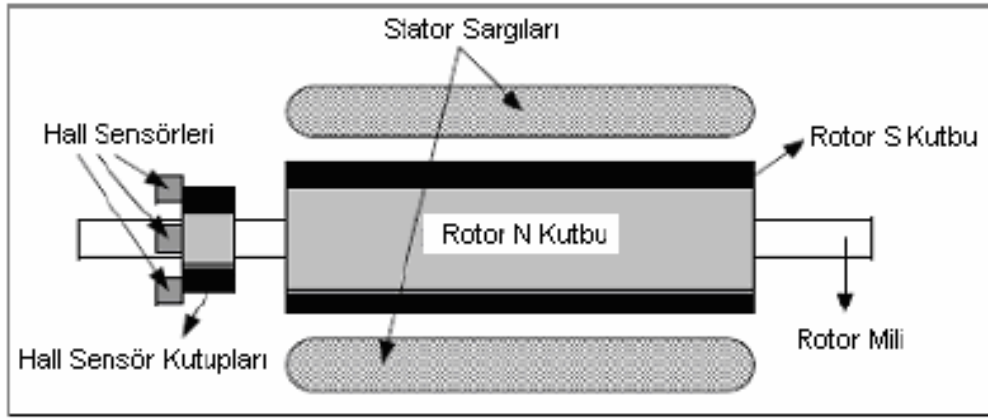
FDAM'ları aslında bir AA motorudur yaklaşımı yapılabilir. Nitekim içerisinde dolaşan akım alternatif akımdır. Ancak şunlara dikkat edilmelidir ki alternatif akım değişken frekanslı olmalı ve bir doğru akım kaynağından elde edilmelidir. Hız/Tork grafiği fırçalı doğru akım motoruna oldukça benzemektedir. Tüm bunlar birleşince FDAM daha önceki motorların hiç birine tam anlamıyla benzemediği için yeni bir tür olarak karşımıza çıkmaktadır.[25]

Fırçasız doğru akım motorlarının avantajları şunlardır: hız kontrolü olanağına sahiptir, uyarım akımına ihtiyaç duymazlar, sessiz çalışır, verimi çok yüksektir, sürtünme ve ark kayıpları yoktur, yüksek hızda çalışma imkanı sunar, yüksek moment üretebilir, kolay şekilde soğutulurlar, uzun ömürlüdür. Dezavantajları şunlardır: Kontrolü karmaşıktır, maliyeti yüksektir, konum sensörlerine ihtiyaç vardır ve sabit mıknatıslarının mıknatıslık özellikleri zamanla zayıflar. [20]

2.3.1. FDAM'ın Yapısı

Fırçasız doğru akım motorlarının yapısında hareketli parça olarak rotor, hareketsiz parça olarak stator mevcuttur. Rotor kısmında kalıcı mıknatıs veya mıknatıslar bulunur ve kollektör, fırça yapısı bulunmaz. Rotor yapısında daimi mıknatıs elde etmek için ferrit maddeden yapılan mıknatıslar tercih edilir. Bunun nedeni ucuz oluşudur. Daha az

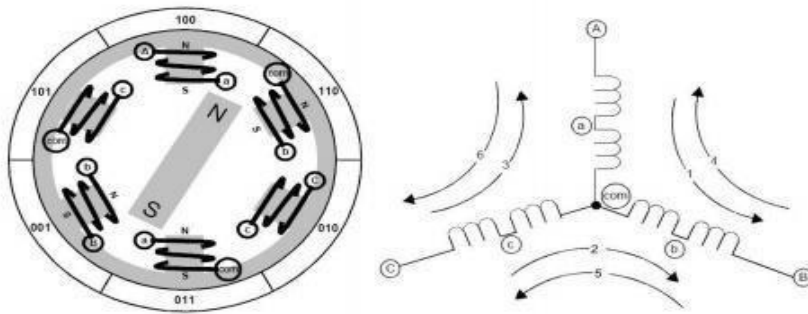
manyetik yoğunluk sağlaması dezavantajdır. Günümüzde rotorda sabit mıknatıs olarak neodmiyum- ferrit-boron ve neodmiyum ile samaryum-kobalt alaşımı maddesi kullanılır. Mıknatıs malzemeleri pahalıdır ve zaman geçtikçe özelliklerini yitirdiklerinden motorlar için dezavantaj olur.[17] Fırçasız doğru akım motorlarının statorlarında iletken üç fazlı sargılar bulunur. Bu sargılardan akan akım, rotora yerleştirilen sabit mıknatıslar ile oluşan manyetik alanın etkileşimi sonucu enerji dönüşümü sağlar. Fırçalı doğru akım motorlarında ise iletken sargılar rotordadır ve bu sargılara akım kollektör ve fırça denilen mekanizma yardımıyla aktarılır. Fırçasız doğru akım motorlarında ise rotordaki mıknatısın her kutup değişiminde statordaki sargılarda bulunan akım yönleri anahtarlar tarafından değiştirilir. Bu sebepten fırçasız doğru akım motorlarında kollektör ve fırça düzeneği bulunmadığı gibi bu düzeneğin bakımına ihtiyaçta yoktur. Endüstriyel uygulamalarda bu özellik önemli bir üstünlük sağlamaktadır.[19] Şekil 2.2’ de FDAM’ nun stator ve rotor



yapısı verilmiştir.

Şekil 2.3 Fırçasız Doğru Akım Motorunun Stator Ve Rotor Yapısı[20]

Şekil 2.3’ te bir FDAM’ nun iç yapısı verilmiştir.



Şekil 2.4 Örnek Bir Fırçasız Doğru Akım Motoru İç Yapısı [17]

Fırçasız doğru akım motorlarının sürülmesi için denetleyici, sürücü birimi ve geri besleme üniteleri olarak konum ve hız algılayıcı sensörler vardır.

23.2 FırçasızDoğru AkımMotoru Çeşitleri

Fırçasız doğru akım motorları iç rotorlu, dış rotorlu vedisk tipi olarak üçe ayrılır.

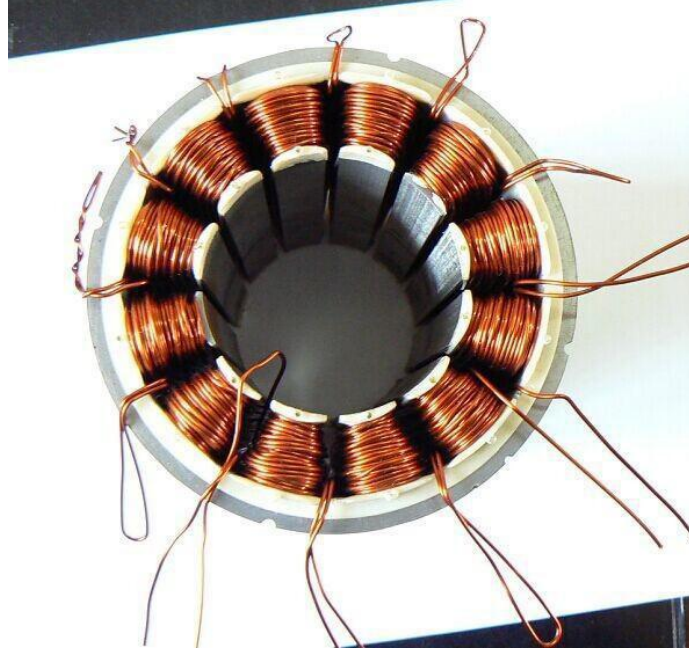
İç rotorlu FDAM’ unda motorun dönen bölümü olan rotor iç kısımdadır. Stator sabit konumdadır. Seri üretimde stator sargıları sarımında işçilik açısından maliyetlidir. Stator sargılarının dış kısımda oluşu soğumanın daha verimli olmasını sağlar. Yapısal olarak asenkron ve senkron motorlara benzerler. Bu motorların hızları dış rotorlulara göre daha hızlıdır ve volt başına ürettikleri tork daha azdır.

Dış rotorlu FDAM’ unda motorun dönen bölümü olan rotor dış kısımdadır. Yani motorun gövdesi dönen kısımdır. Stator sargıları iç kısımda bulunur. Mıknatıslar rotora gömülü olarak yerleştirilirler. Bu durum rotorun savrulmaya karşı dayanıklı olmasını sağlar. Dış rotorlu FDAM’ larının uçak, helikopter, drone gibi kullanım alanları vardır. Bunun nedeni motorun hızının düşük, torkunun ise yüksek oluşudur. Dezavantajları olarak bobin yapısı iç kısımda olduğu için soğutmak zordur diyebiliriz.[18]

Disk tipi FDAM’ unda çelikten bir yapı vardır ve mıknatısları bulunan bir dik rotoruna sahiptir. Stator kısmında ise uyarma sargıları bulunur. Düşük hız uygulamalarında kullanılırlar ve 1000 rpm hız değerinin üzerine çıkıldığında disk aksamında ısınma sorunu meydana gelir. Bu sebepten maliyet artar.

Fırçasız doğru akım motorlarında sabit kısım stator olarak adlandırılırken dönen kısım rotordur olduğundan daha önce de bahsedilmiştir. Stator 3 faz sargı içerir, rotor da ise sürekli mıknatıslar konumlandırılmıştır. Daha ayrıntılı inceleme yapılır ise FDAM’ da stator sargıları “toplu sargılı” olarak karşımıza çıkar. Bu durum yamuk tip zıt emk oluşumunu sağlamaktadır.

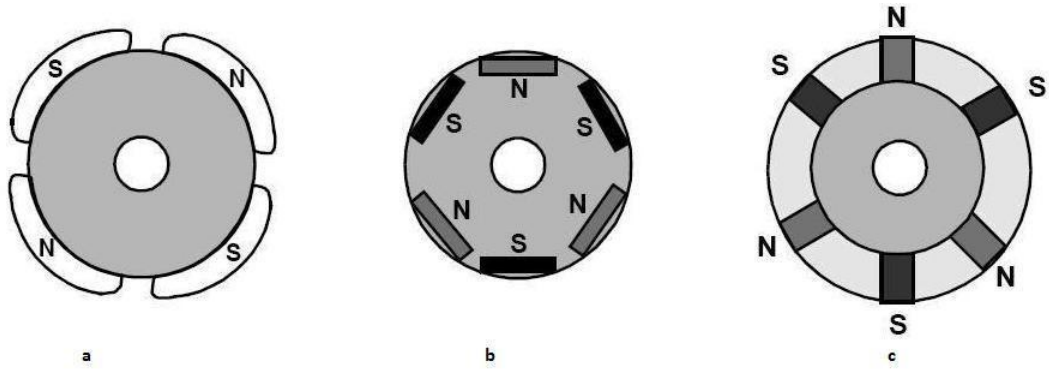
Aşağıdaki şekilde bir FDAM’ ın stator sargıları gösterilmiştir.



Şekil 2.5 FDAM Stator Sargıları

İçten rotorlu FDAM' ların rotorunda bulunan mıknatıslar ise 3 tipte karşımıza çıkabilir.

- a) yüzey montajlı
- b) yüzeyin hemen altına montajlı
- c) rotor içine montajlı



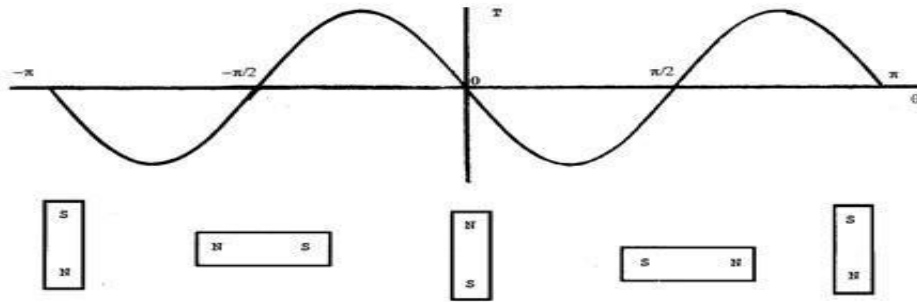
Şekil 2.6 FDAM' larının Rotor Tipleri

Yukarıdaki şekilde rotor tipleri gösterilmiştir. Yüzey montajlı rotorun yapımı kolay, maliyeti ucuzdur ancak yüksek hızlarda mıknatısı kopabilir. Rotor içine montajlı

mıknatıslar ise yüksek maliyetli, karmaşık matematiksel modele sahip olup dayanıklı rotorlardır.

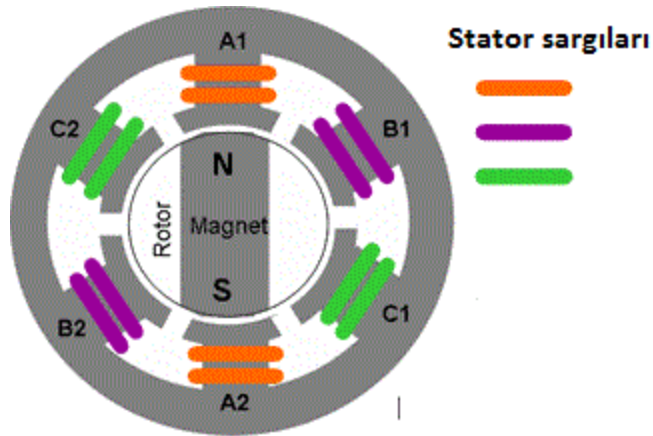
2.3.3. Fırçasız Doğru Akım Motorunun Çalışma Mantığı ve Kontrolü

Hareketli parça olan rotor dönüşünü stator sargılarında dolaşan akımın oluşturduğu manyetik alan sayesinde sağlar. N kutbu S kutbunu çeker ve zıt kutuplar birbirini iter mantığı bu noktada gözlemlenebilir. Statorda birden fazla sargı sayesinde bu dönüş tam tur haline getirilir. Şekil 2.4'te motor rotorunun konumuna bağlı moment değişimi verilmiştir.



Şekil 2.7 Rotor Konumuna Bağlı Moment Değişimi

Temel olarak dönen rotor kutuplarının indüklenen stator sargıları ile olan ilişkisine dayanan bu çalışma, doğru sargılarda oluşacak manyetik alan ile tam dönmeyi sağlar. Burada aynı- farklı kutupların itme-çekme prensibi söz konusudur.



Şekil 2.8 Stator Sargıları

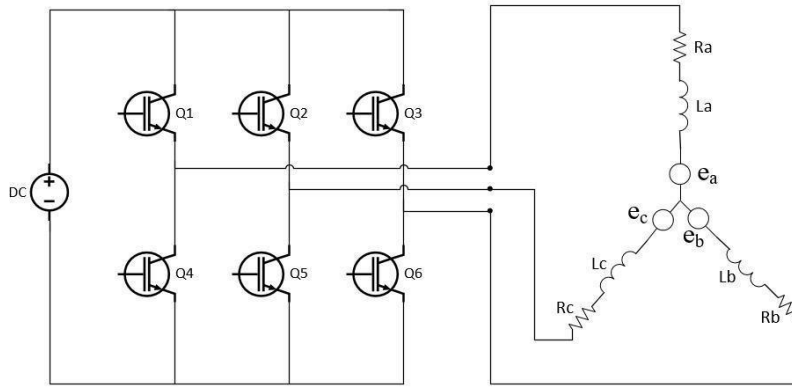
Örneğin bu durumdaki bir rotor için A1 ve A2 sargıları boş olmalı ve B1 sargısından + yönlü akım ve C2 sargısından ise - yönde akım akıtılmalıdır. Bu prensip rotorun kutuplarına göre ve konumuna göre her defasında değişim göstererek tam bir döngüyü

sağlamaktadır. Eğer motorun hızı artırılmak istenirse sargıların aktif edilme hızları da artırılmalıdır. (Frekans artımı ile hız kontrolü)

Yukarıda anlatılan prensipte 2 faz aktif tek faz boşa çalışma vardır. Ancak tek faz aktif 2 faz boşa prensibi ile de FDAM çalıştırılabilir. Ancak bu çalışmada moment yarıya düşer.

Fırçasız doğru akım motorları alternatif akımla beslenmedikleri için alternatif akım kaynağındaki voltaj değişikliklerinden etkilenmezler. DC kaynak ile düşük gerilim seviyelerinde çalışabilirler. Eviriciler sayesinde DC kaynaktan istenilen volt değeri motoru sağlar. Burada sağlanacak olan tetikleme teknikleri ile aktarılabilecek güç dolayısıyla akım ve gerilim kontrol edilebilmektedir.

Rotor konumu bilgisi için hall sensörlere ihtiyaç vardır. Konum sensörü kullanılmadığı durumlarda algılayıcısız çalışma için bir takım algoritmalar gereklidir ve bu yöntem diğerlerine göre daha pahalıdır. Bu motorların verimi %70-90'lar seviyesindedir. Boyutları 2.5-14 cm arasında değişir. [18] Şekil 2.5'te FDAM'ın üç faz sargılarının IGBT evirici üzerinden beslenmesi devresi verilmiştir.



Şekil 2.9 FDAM'ın Üç Faz Sargılarının Evirici Üzerinden Beslenmesi[1]

DC makinelerde akımın yön değiştirmesi işlemine komütasyon denir. Komütasyon için rotor pozisyonu tespit edilmelidir. FDAM'larının elektronik olarak komütasyonu yapılması gerekir. Rotor pozisyonuna göre evirici bloğundaki elemanlar anahtarlama yapar. Rotorda bulunan konum algılayıcılarıyla ya da konum algılayıcısız olarak hangi anahtarlama elemanının açık ya da kapalı olduğu tayin edilir. FDAM'ın kontrol yöntemlerine örnek verecek olursak denetleyiciler (PI, PD, PID) kullanılarak yapılan klasik kontrol yöntemi, bulanık mantık, genetik algoritma, yapay sinir ağları, sinirsel bulanık

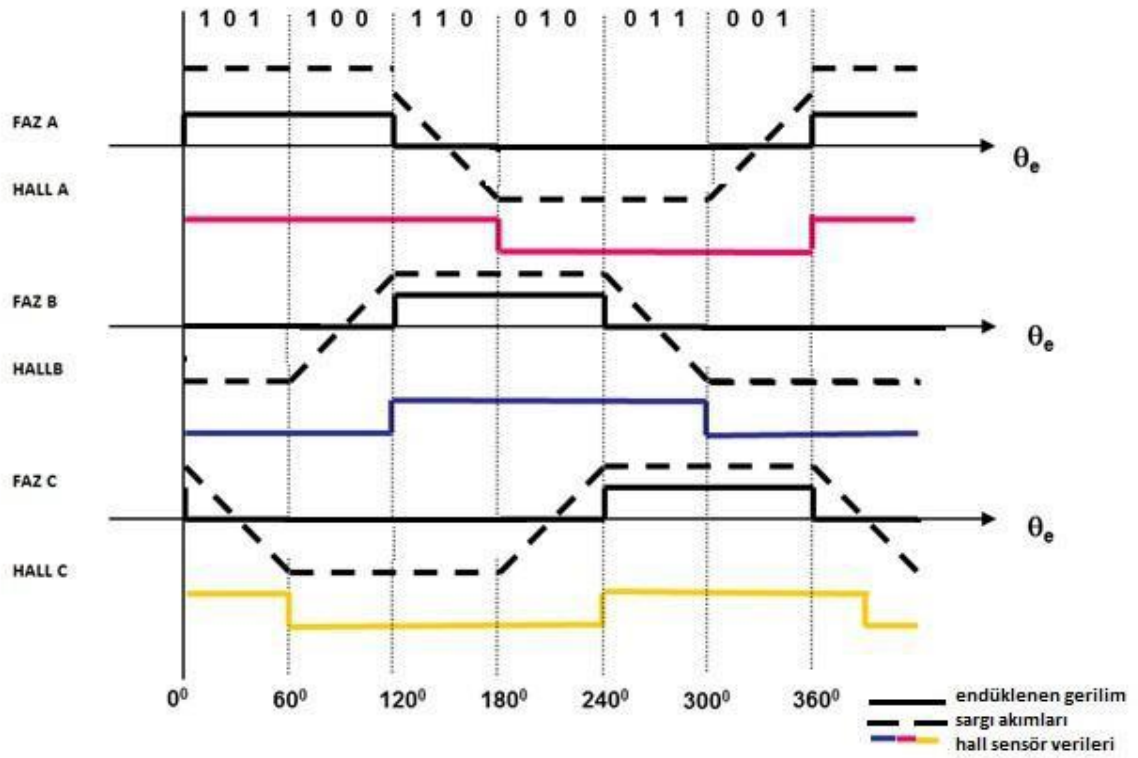
denetleyiciler, dalgacık tekniği yöntemi gibi yöntemler söylenebilir. Klasik yöntem dışındaki yöntemler modern yöntemler olarak günümüzde sıkça uygulanmaktadır. [18]

2.3.4 Fırçasız Doğru Akım Motorlarının Sürülmesi

Genel olarak 2 tip topoloji karşımıza çıkmaktadır:

a-)3 Faz Yarım Dalga Motor Sürücü

Düşük maliyetli olan bu tip sürücüler daha az yarıiletken kullanılarak daha düşük güçlerde kullanımı amaçlar. Diyot kullanımına gerek olmayan bu topolojide moment üretimi, tam dalga sürücüye nispeten üretilen momentin yarısıdır.

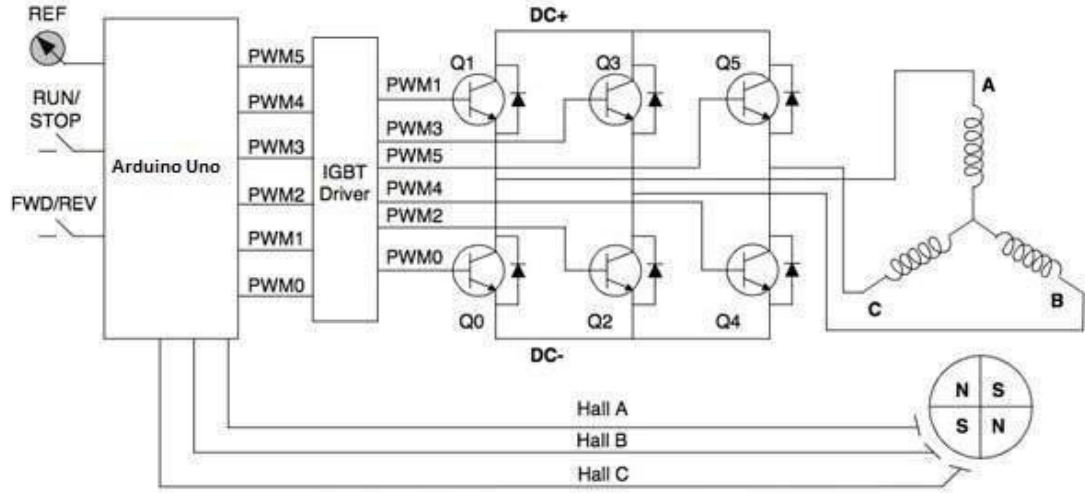


Şekil 2.10 Hall Sensörünün Tetikleme Sonuçları

Yukarıda verilen şekilde Hall sensörlerinden alınan verilere göre uygulanan tetiklemeler sonucu oluşacak dalga şekilleri gösterilmiştir. Rotor konumuna göre endüklenen gerilim ve sargılardan akan ileri yön akımları şekildeki gibidir. Rotorun yönün değişmesi için endüklenen gerilimlerin negatif olduğu kısımlardan akımlar akıtılmalıdır. Yani akan akımlar 180° kaydırılmalıdır. Bu kaydırılma da anahtarların iletme geçme süreleri ile ilgilidir.

Her bir sargıda endüklenen gerilim (faz- nötr) rotor konumunun 120° 'lik kısmında sabit değerde bir akım akıtır.

b-)3 Faz Tam Dalga Motor Sürücü

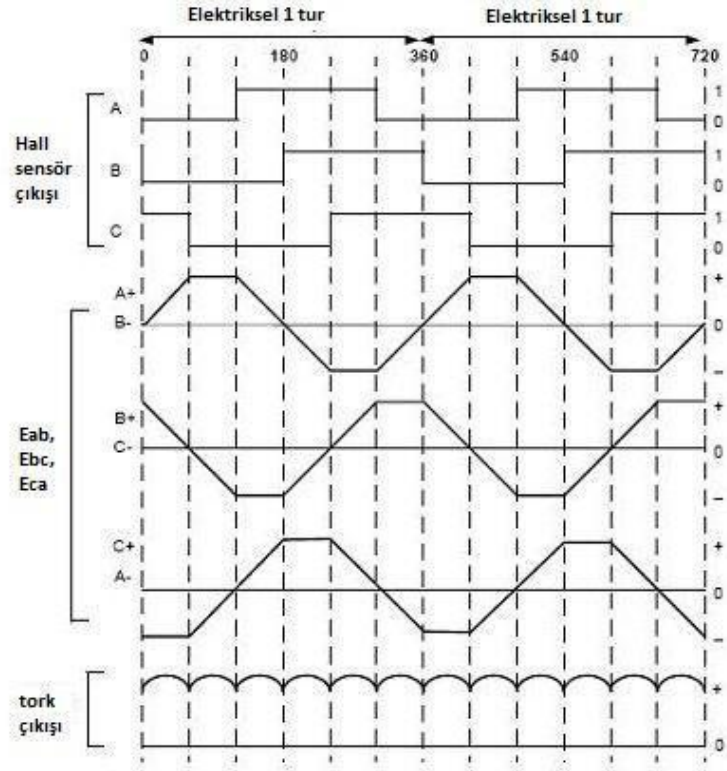


Şekil 2.11 Tam Dalga Motor Sürücüsü

Şekilde gösterilen topoloji ile akım yönleri değiştirilebilmektedir. Bu sayede itme ve çekme kuvvetleri oluşturularak üretilen moment bir önceki yönteme kıyasla 2 katına çıkmaktadır.

Fazlar arası endüklenen gerilim 60° endüklenir; akım ise yine 120° iletimde kalır ve negatif yönde de akış sağlanır.

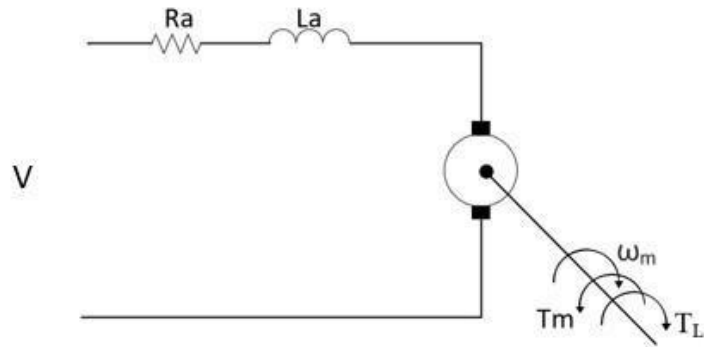
Aşağıdaki şekilde endüklenen gerilim ve hall sensörlerinin ilişkisi açıkça gösterilmiştir. Ayrıca momentte oluşan dalgalanmanın sebebi ise her 60° bir anahtarlama olan değişimdir. Bu anahtarlama esnasında sargılarda depolanan enerjiler “serbest döngü diyotlarından” akarak momentte dalgalanma oluşturur.



Şekil 2.12 Endüklenen Gerilim Hall Sensörü İlişkisi

2.3.4. Fırçasız Doğru Akım Motoruna Ait Matematiksel Denklemler

Temel olarak kullanılan Faraday yasası ve Lorentz Kuvveti denklemlerinden yararlanılarak bu bölümdeki denklemlere ulaşabiliriz. Aşağıda şekil DC motora ait bir faz eşdeğer devresi yer almaktadır. Şekil 2.6' da DC motorun bir faz eşdeğer devresi verilmiştir.



Şekil 2.13 DC Motor Bir Faz Eş değer Devresi

FDAM' larında matematiksel modeli oluştururken bazı kabullenmeler yapılır. Bunlar şu şekilde özetlenebilir; her sargıya ait öz endüktans, ortak endüktans, direnç değerleri eşit ve sabit kabul edilir, stator sargıları yıldız bağlıdır, demir histerezis kayıp ları ihmal edilir, anahtarlamalar ideal kabul edilir ve sargılarda endüklenen gerilim trapezoidal dalga formundadır. [1] Yapılan bu kabullenmeler sonucunda oluşan matematiksel model aşağıda yer almaktadır.

(2.2)

Bu denklemde V giriş gerilimini, R faz başına düşen direnci, i faz akımlarını, p türev operatörünü, L_x öz endüktansı, L_{xy} ortak endüktansı ve e faz başına endüklenen gerilimi ifade eder. Endüktan değerleri relüktans değişimi olmadığından sabittir ve direnç değerleri faz sargıları eşit olduğundan eşittir.

Faz başına düşen endüklenen gerilimin tepe değerini şu şekilde ifade edebiliriz.

(2.3)

Bu denklemde N sargı başına sarım sayısını, V sargı lineer hızını, l sarım uzunluğunu ve B manyetik akı yoğunluğunu ifade eder. Bu denklem şu şekilde de yazılabilir.

(2.4)

Bu denklemde K_e endüklenen gerilim katsayısını ve W_m de açısal hızı ifade eder.

Motor miline aktarılan güç aşağıdaki denklemde şu şekilde ifade edilir.

(2.5)

Motor miline aktarılan güç, her bir fazda endüklenen gerilim ve üzerinden geçen akımlar çarpımından gelen ifadelerin toplamına eşittir. Ayrıca güç ifadesi açısal hız ile üretilen elektromekanik momentin çarpımına eşittir. Güç ifadesinden üretilen elektromekanik momente ulaşılabilir.

(2.6)

Bu denklemde W_m rotor açısal hızı ifade eder. Aşağıdaki denklemde yer aldığı gibi elektriksel olarak açısal hız, motorun kutup sayısı (P) ile rotor açısal hızına bağlıdır.

$$- \quad (2.7)$$

Motor hareket denklemini ele alacak olursak;

$$- + B \quad (2.8)$$

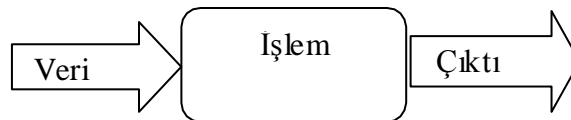
J eylemsizlik momentini, B sürtünme katsayısını, T_l de yük momentini ifade eder.

FDAM'lar için elektriksel ve mekaniksel tur farklı iki kavram olarak karşımıza çıkar. Bağntı 2.7 de verilen formülde kolayca ifade edilen bu durum aslen rotor üzerindeki mıknatıs sayısı ile orantılıdır. Rotor üzerinde bulunan mıknatıs sayısı bize motorun kutup sayısını verir. Elektriksel tur, herhangi bir sargının karşısından geçen N-S kutup çifti sayısıdır. Yani rotor her hangi bir referansa göre tam bir tur döndüğünde ,“ki buna mekaniksel tur denir” , o referans noktasından geçen toplam N- S çifti sayısı bize elektriksel turu verir.

24. Mikrodenetleyiciler

Günümüz teknolojisindeki gelişmeler ihtiyaçlarımızı karşılamak için mühendisleri daha küçük ve çok fonksiyonlu ürünler üretmeye zorluyor. Mikrodenetleyiciler bu noktada çokça kullanılan elemanlar haline geldi. Mikrodenetleyiciler genellikle endüstriyel amaçlı kontrol ve otomasyon için kullanılırlar. Mikrodenetleyiciler programlanabilme ve içerisine bir programı depolayıp gerektiğinde çalışabilme özelliklerini barındırırlar. En yaygın olarak kullanılan mikrodenetleyiciler Microchip PIC ve Atmel'dir.

Genel olarak girilen verileri tasarlanan yazılıma göre yorumlayarak çıktı veren elektronik kartlara mikrodenetleyici denebilir. Bir mikrodenetleyici CPU, RAM, ADC, ROM VE I/O portlarından oluşan bir bilgisayardır.



Şekil 2.14 Veri İşleme

Mikrodenetleyiciler yapısal olarak 2'ye ayrılırlar: Donanım ve yazılım

Donanımsal olarak incelendiğinde o kartı oluşturan elektronik ve mekanik ağıtlara donanım denemektedir. Genel olarak mikrodenetleyici donanımı: Buton, sensör, giriş portu gibi “giriş elemanlarından”, CPU, RAM, ROM, REGISTER gibi “işleme elemanlarından”,

LCD, LED, transistör gibi “çıkış elemanlarından ve güç kaynağı, baskı devre kartı gibi ”yardımcı elemanlardan” oluşmaktadır.

Yazılımsal olarak incelendiğinde ise o karta belli bir iş yaptırma becerisi yazılımla sağlanır denebilir.Örneğin bir uzaktan kumanda teknolojisi,akıllı cihazlar, otomatik kapı, asansör vs uygulamalarda işlem temelinisağlar.

24.1. Mikrodenetleyici Mimarisi

Mikrodenetleyici mimarisi komut işleme tekniği ve hafıza durumu olarak sınıflandırılır. Hafıza durumu olarak ikiye ayrılır. Bu mimariler Von Neuman ve Harvard mimarisidir. Günümüzde Harvard mimarisi tasarımı tercih edilmekle beraber bazı mikrodenetleyicilerde her iki mimari özelliklere de rastlanmaktadır.

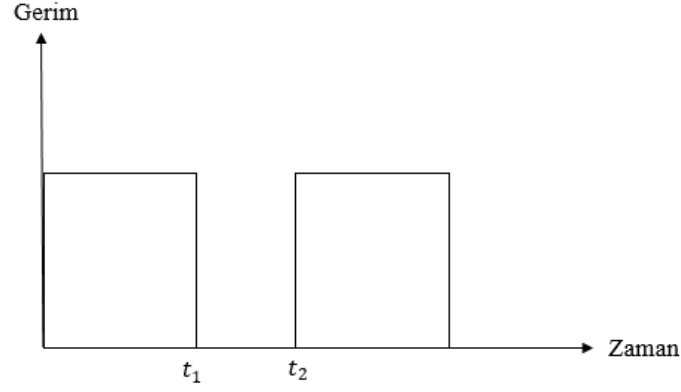
Von Neuman mimarisinde veri ve program kısmı aynı hafıza üzerindedir. 80X86, 68HC11 gibi işlemciler kullanılmıştır. Birimler arası iletişim veri, adres, kontrol yollarıyla sağlanır. Mimarinin birimleri merkezi işlem, bellek ve I/O birimleridir. İşlem birimi bellek biriminden ayrıdır. Komut ve verilerin aynı yola iletilmesi, veri iletiminin komut iletimini beklemesi durumunu oluşturur.

Harvard mimarisinde veri ve program kısmı ayrı hafıza üzerindedir. Bu mimaride komut ve verilerin yolları ayrıdır. Bu sebeple aynı anda veri ve komut iletimi sağlanır. Güvenliğin önemli olduğu kısımlarda tümleşik devrelerde bu mimariye rastlanır.

25. Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM)

Kare dalga taşıyıcı sinyalinin darbe genişliği bilgi sinyalinin genliğine bağlı olarak değiştirilmesine darbe genişlik modülasyonu denir. PWM’ da asıl amaç cihaza verilen elektriğin gücünü kontrol etmektir. Bu kontrol anahtarlama ile yapılarak ayarlanır. Sık anahtarlama yapılırsa aktarılan güç artar. [21]

PWM sinyali uzaktan kumanda setinden yada mikrodenetleyicilerden sağlanabilir. PWM yöntemi ile digital sonuçlardan analog sonuçlar elde edilebiliyor. PWM tekniğinde kare dalga genliği, referans aldığı dalganın ortalaması kadardır. Şekil 2.7 de bir PWM sinyali vardır.



Şekil 2.15 Örnek PWMSinyali

Bu sinyal üzerinden gidecek olursak t_1 ve t_2 ile ilişkili doluluk oranını bulabiliriz. Aşağıdaki denklemde doluluk oranı ifade edilmiştir.

$$\text{—} \quad (2.9)$$

PWM tekniği haberleşme sistemlerinde, güç aktarımında, elektrikli makinelerde sıkça rastlanan bir tekniktir. Haberleşme sistemlerinde sinyallerin öneminin çok büyük oluşu ve güç kontrolünde güç miktarının ayarlanabilir oluşu PWM tekniğinin kullanılma sebepleri arasındadır.

FDAM'larının kontrolünde de PWM yöntemi kullanılır. Darbe genişliğinin değişmesi evirici modülünde rotor komütasyonuna göre yapılan anahtarlama işlemiyle sağlanır. Anahtarlama elemanlarının kapalı kalma sürelerinin değişmesiyle doluluk (D) oranında değişir. [23]

2.6. PI Denetleyici

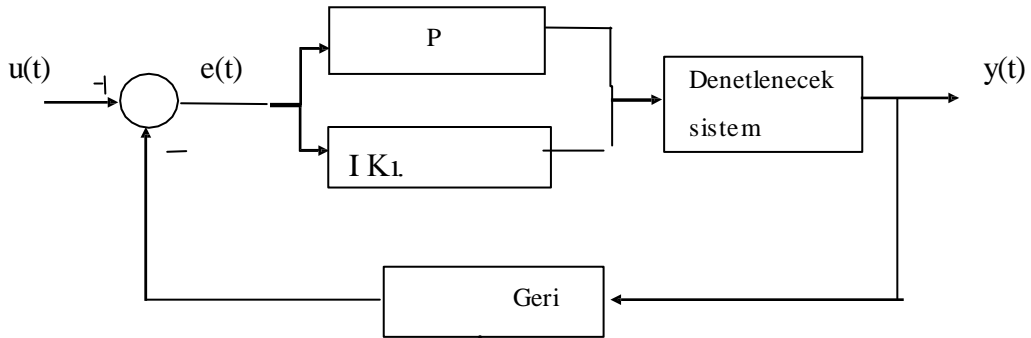
Otomatik kontrol sistemlerinde kontrol birçok denetim türü ile yapılmaktadır. Denetleyeceğimiz sistemin hata değeri azaltmak ya da sıfıra indirmek için denetleyiciler (kontrolörler) kullanılır. Bunlardan biri de PID denetleyicilerdir. Geri besleme elemanından alınan veri ile referans giriş farkı hatayı oluşturur. Tam olarak bu noktada denetleyiciler etki eder ve hata değeri istenilen değerlere düşürülür.

Oransal denetleyici (P) çıkışı o andaki hata değeri ile kazanç değerinin (K_P) çarpılmasıyla elde edilir. İntegral (I) denetleyici oransal denetleyiciye benzer. Fakat anlık

hata değeri yerine sistemin çalıştığı andan itibaren olan tüm hataların toplamı bir kazanç değeriyle (K_I) çarpılır.

PI denetleyici hem oransal hem de integral denetleyicinin birleşmesiyle oluşur. PI denetleyici ile kalıcı hata yok edilebilir. Yazılımsal olarak yapılabileceği gibi donanımsal olarak ta gerçekleştirilebilir.

Şekil 2.8' de bir sistemi denetleyen PI denetleyici blok diyagramı verilmiştir.



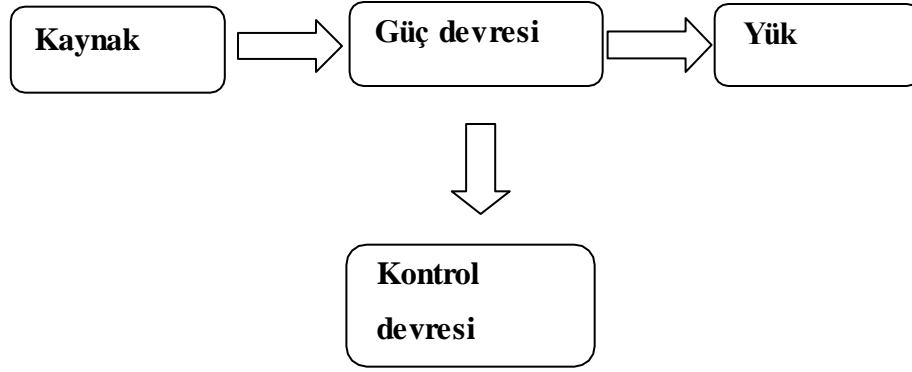
Şekil 2.16 PIDenetleyici İle Denetlenen Sistem Blok Diyagramı

27. Eviriciler

Güç elektroniği elemanlarının kullanımı endüstriyel makinelerde kullanılan doğru akım motorlarının hız kontrolü ile başlamıştır. Güç elektroniğinde eviriciler önemli bir yer tutmaktadır. Eviriciler herhangi bir kaynaktan aldığı elektrik enerjisini kontrol ederek elektronik olarak yüke aktarma işlemini yapar.

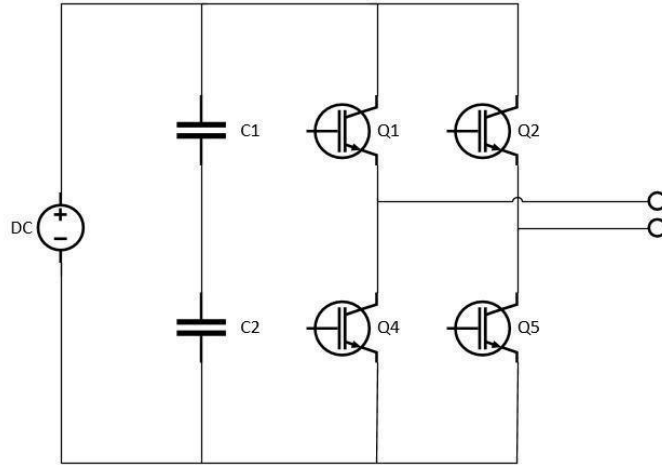
Eviriciler, DA-AA dönüştürücüler olarak bilinirler ve temel olarak DA giriş gerilimini arzu edilen genlik ve frekansta AA çıkışı eldesinde kullanılırlar. Burada istenen çıkış geriliminin frekansı sabit ya da değişken olarak ayarlanabildiği gibi sabit girişli eviriciler çıkışındaki kazancı da değiştirebilirler.

Eviriciler daha çok endüstriyel uygulamalarda kullanılır. Daha çok değişken hıza sahip AA motorları başta olmak üzere güç kaynakları, yenilenebilir enerji, ulaşım, DA'da elektrik iletimi gibi alanlarda oldukça yaygın olarak kullanılırlar. Şekil 2.9 ' de evirici birimleri şematik halde verilmiştir.[26]



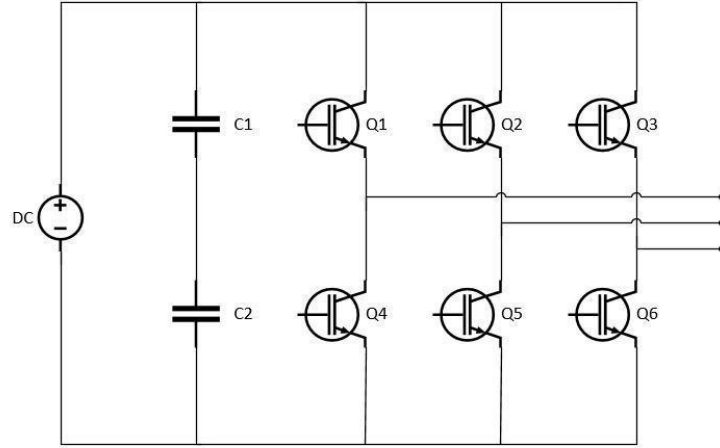
Şekil 2.17 Evirici Birimleri

Eviriciler genellikle yüksek gerilimde doğru akım iletim sistemlerinde, AC gerilim regülatörlerinde, değişken hızlı asenkron motor sürücülerinde, DC motor kontrolünde kullanılırlar. Kaynağın çeşidine göre gerilim kaynaklı ve akım kaynaklı eviriciler diye ikiye ayrılırlar. Eviricilerin girişinde aküler, doğru akım kaynakları, alternatif akım kaynakları, güneş pilleri kullanılabilir. Temelde eviriciler bir faz veya üç faz olabilir. Şekil 2.10' da bir faz IGBT ile yapılmış evirici devresi verilmiştir.



Şekil 2.18 Bir Fazlı Evirici Devresi

Üç fazlı eviriciler bir fazlı eviricilere göre yüksek güç ve gerilim uygulamalarında daha uygun çözümler sunmaktadır. İki tür eviricide çıkış geriliminin faz, genlik ve frekans kontrolü için kullanılır. Şekil 2.11' da üç fazlı evirici devresinde anahtarlama elemanı olarak IGBT kullanılmıştır.



Şekil 2.19 Üç Fazlı Evirici Devresi

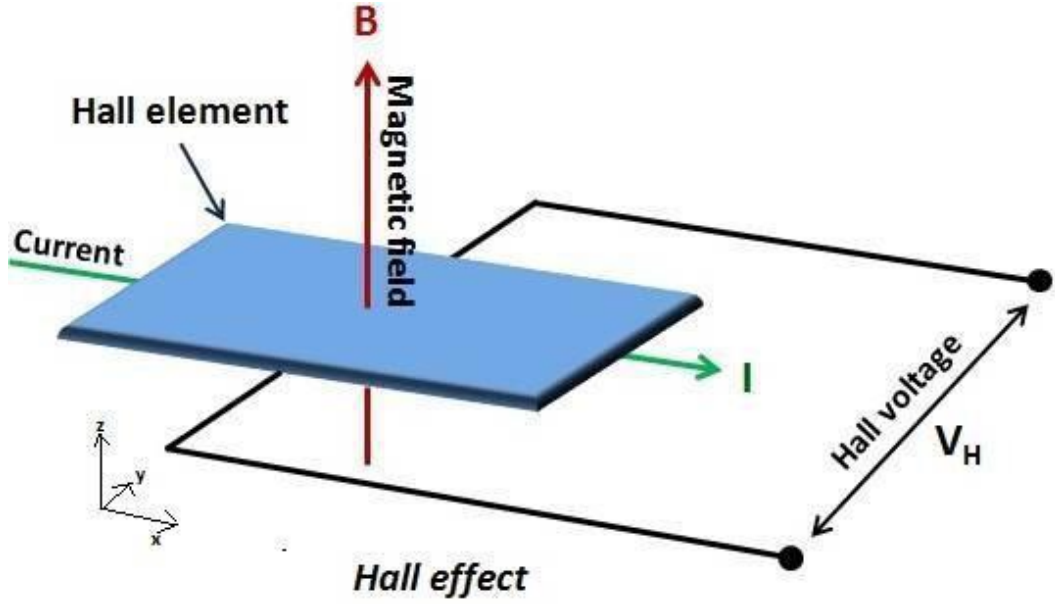
Evirici modüllerinde kullanılan anahtarlama elemanları kullanım amacına göre farklılıklar gösterir. Örneğin tristör, MOSFET, IGBT gibi elektronik elemanlar kullanılabilir.

Eviricilerde artan anahtarlama frekansı daha kaliteli dalga oluşumunu sağlar. Fakat yüksek frekansta çalışma için bazı kısıtlamalar mevcuttur. Bunun nedeni yüksek gerilim uygulamalarında anahtarlama kayıpları söz konusudur. Bu hususta çözüm olarak çok katlı eviriciler kullanılmaktadır. [22]

28. Konum ve Hız Algılayıcı Sensörler

Algılayıcılar fiziksel büyüklükleri kontrol biriminin algılayabileceği şekilde elektrik sinyaline dönüştüren elemanlardır. Giriş büyüklüklerine göre mekanik, termal, elektriksel, kimyasal, manyetik ve ısıma olarak sınıflandırılırlar.

Konum ve hız algılayıcı sensörlerin mantığını şöyle açıklayabiliriz. Yarı iletken bir plakada manyetik akının doğrultusuna dikey olarak oluşan elektromanyetik kuvvetli elektronlar akım yönüne dik şekilde hareket ederler. Bu hareket plakanın bir tarafının negatif bir tarafının pozitif polarize olma sına neden olur. Bu iki uç arasında oluşan gerilime hall gerilimi denir. Bu değer manyetik alan şiddetine ve besleme akımına bağlıdır. Bu sensörler bütün hızdeğerlerinde sabit çıkış üretirler. [18]



Şekil 2.20 Hall Etkisi

Şekilde görüldüğü üzere x eksenine bir akım akışı var iken z eksenine bir manyetik alana maruz kalırsa y ekseninde gerilim oluşur. Genel olarak oluşan bu gerilim lineer tipte ve lojik tiptedir. Lineer devrelerde oluşan manyetik alanın şiddetine göre uçlarda oluşan gerilimde artış gösterir ki daha çok akım sensörü gibi uygulamalarda karşımıza çıkar. Lojik tipteki sensörler ise FDAM' u gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.

Düşük maliyetlidir ve genelde 60° de bir konum algılama da kullanılırlar. Üretici katalogunda, sensör verilerine göre gerekli tetikleme sırası verilir. Ulaşılamayan durumlarda ise osiloskop yardımı ile hangi fazlarda hangi sensörlerin tepki verdiği incelenebilmektedir. Aşağıdaki şekilde sensörlerin göndereceği verilere uygun olarak yarı iletkenlerin tetiklenme sıraları, bunun sonucunda fazlarda oluşacak gerilimler gösterilmiştir.

FAZLAR	HALL SENSÖRLERİ			YARI İLETKEN ANAHTARLAR						FAZLAR			SARGILAR		
	H3	H2	H1	Q1L	Q1H	Q2L	Q2H	Q3L	Q3H	P1	P2	P3	V ₁₋₂	V ₂₋₃	V ₃₋₁
I	1	0	1	0	1	1	0	0	0	+V _m	Gnd	NC	-V _m	-	-
II	0	0	1	0	1	0	0	1	0	+V _m	NC	Gnd	-	-	+V _m
III	0	1	1	0	0	0	1	1	0	NC	+V _m	Gnd	-	-V _m	-
IV	0	1	0	1	0	0	1	0	0	Gnd	+V _m	NC	+V _m	-	-
V	1	1	0	1	0	0	0	0	1	Gnd	NC	+V _m	-	-	-V _m
VI	1	0	0	0	0	1	0	0	1	NC	Gnd	+V _m	-	+V _m	-

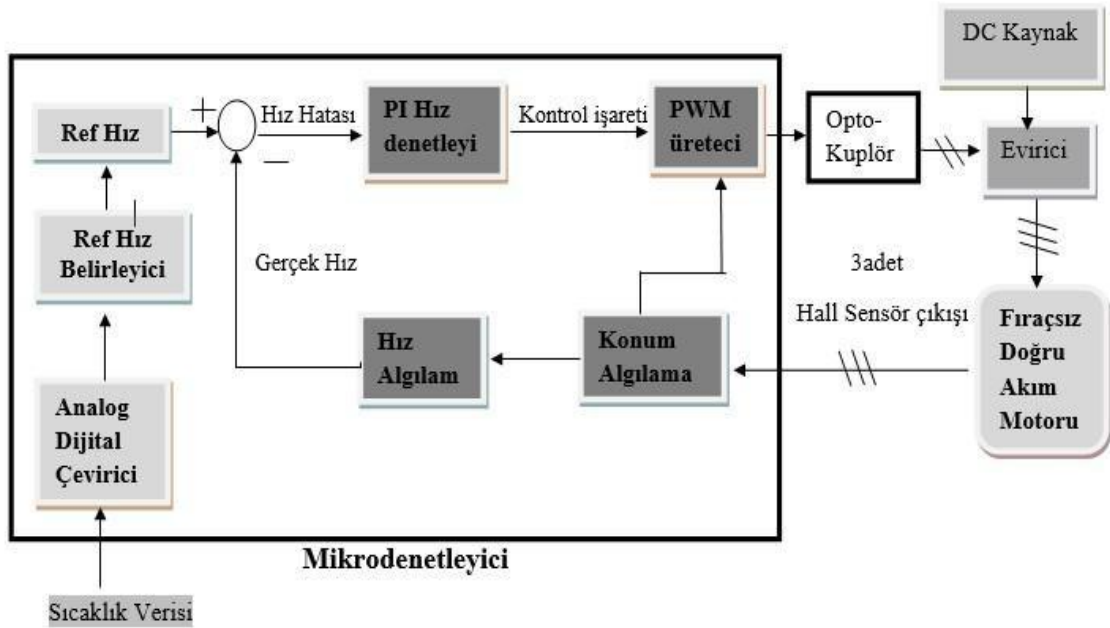
Şekil 2.21 Hall sensörleri, Yarı İletken Anahtarların Sargıların Durumları

3. TASARIM

3.1. Genel Bilgiler

Bu bölümde araçtan alınacak olan sıcaklık verisine göre radyatör fanının devir kontrolü yapılmasının tasarımı bahsedilecektir.

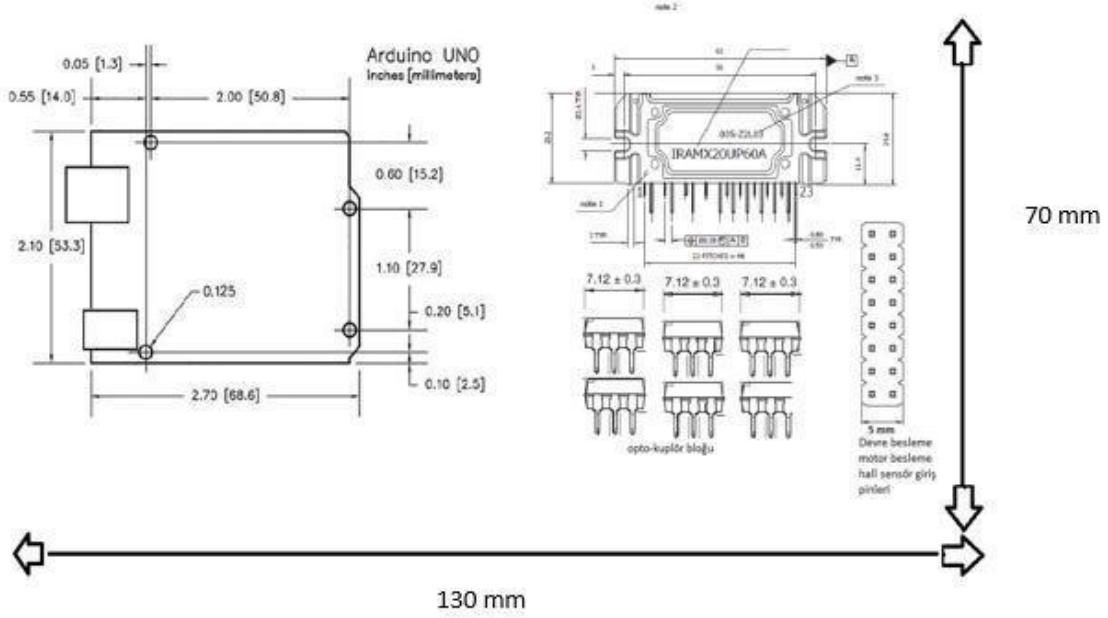
Sistem tüm beslemesini aracın aküsünden 12V olarak almaktadır. Aşağıdaki tabloda “sistemin genel işleyişi” blok diyagram şeklinde verilmiş olup, adım adım bileşenler ele alınmıştır. Araçtan alınan analog sıcaklık verisi denetleyicimize giriş yapacaktır. Kullandığımız mikrobilgisayar (Arduino Uno) dahili ADC’ye sahiptir. Burada analog veri örneklenerek dijital işarete yani denetleyicinin işleyebileceği türe dönüşür. Bu sinyaller denetleyiciye referans hız olarak giriş yapar ve hall sensörden alınan gerçek hız verisi ile kıyaslanır. Daha sonra hız hatası belirlenerek PI bloğuna giriş yapar. PI bloğu yapılan simülasyonlar sonucunda görüldüğü üzere hatayı yaklaşık sıfıra indirgeyerek PWM çıkışı sunar. Bu PWM çıkışı, istenen referans hıza göre doluluk boşluk oranını ayarlayarak opto-kuplöre giriş yapar. Opto-kuplörde optik izolasyonu sağlanan PWM sinyalleri, IGBT bloğumuza kontrol girişi sağlar. Sinyaller, IGBT modüle giriş yapan DC gücü, kontrollü şekilde AC güce çevirerek, motoru istenen hızlarda kontrol eder. Aşağıdaki Şekil 3.1 sistemin genel işleyişi blok diyagramında tasarlanan sistemin genel akışı gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Sistemin Genel İşleyişi Blok Diyagramı

3.2. Boyutlandırmalar

Aşağıda gösterilen “Şekil 3.2 Sürücü Kartı Boyutlandırması”nda sürücü kartının yaklaşık boyutlandırılması temsili elemanlar ile gösterilmiştir. Boyutlar kartın paket halini aldıktan sonra modülün boyutlandırmasıdır.



Şekil 3.2 Sürücü Kartı Boyutlandırması

3.3. Sistem Bileşenleri ve Seçimi

3.3.1 Arduino

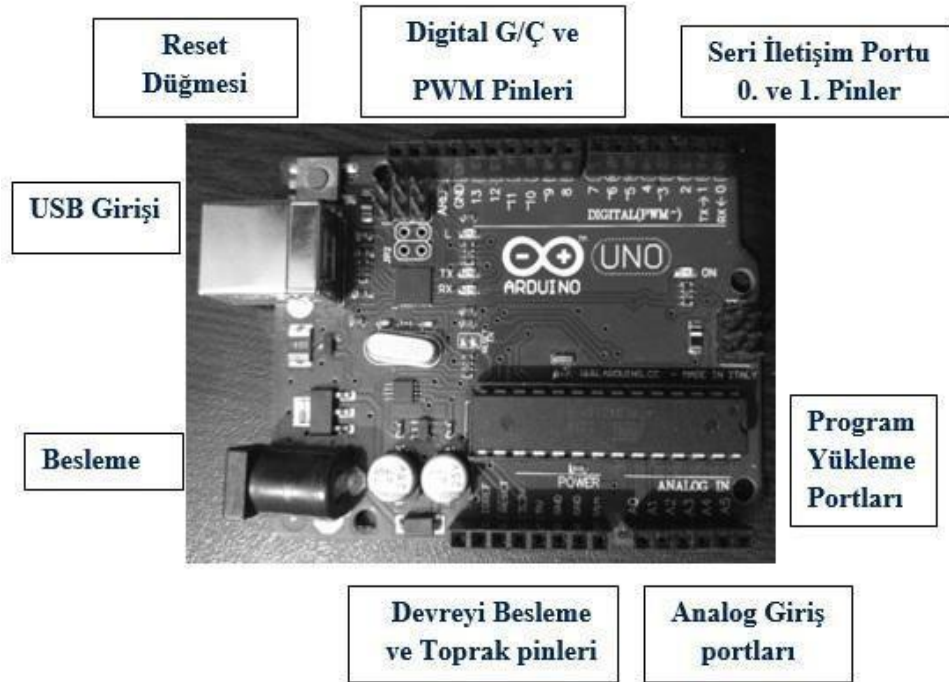
Arduino, çevresiyle etkileşime girebilen sistemler tasarlayabileceğimiz bir geliştirme platformudur. Arduino üzerinde Atmega firmasının mikrodenetleyicileri bulunur, kütüphaneleri sayesinde mikrodenetleyiciler kolaylıkla programlanabilir. Arduino’da analog ve digital girişler vardır. Bu sayede analog ve dijital veriler işlenebilir. Ses, ışık gibi çıktılar arduino ile alınabilir. Çevresi ile etkileşim içerisinde olan robotlar ve sistemler arduino ile tasarlanabilir. Farklı ihtiyaçlar çerçevesinde çözüm sunmak için birçok çeşit arduino kartları ve modülleri mevcuttur.

Kartın özellikleri şunlardır:

- Denetleyici: ATmega 328P
- Çalışma Voltajı: 5V
- Besleme Gerilimi: 7-12V

- Dijital Giriş/Çıkış:14 (6 tanesi PWMolarak kullanılabilir)
- Analog Giriş:6 (10 bitçözünürlük)
- Pinler Sink/Source Akımı:40mA
- FlashMemory:32KB
- SRAM:2KB
- EEPROM:1K B
- Çalışma Frekansı:16MHz
- İletişim Arayüzü:USB

Arduino özetle açık kaynak kodlu bir geliştirme platformudur demek yerinde olacaktır. Bu platformda kullanılacak bir çok eklentiler (shield) vardır ve program yazmaya yarayan Arduino IDEbulunur.[27]



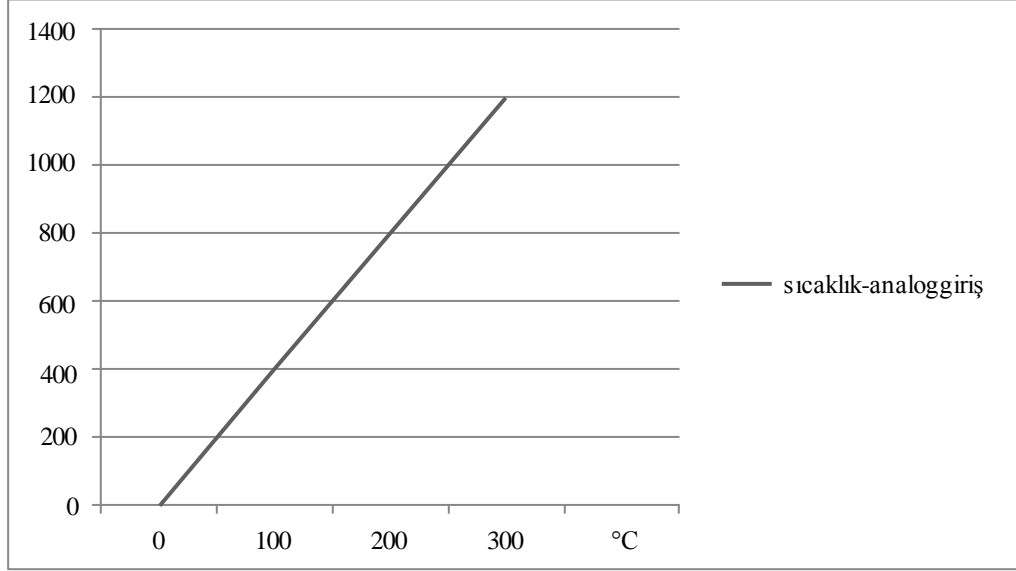
Şekil 3.3 Arduino UnoBileşenleri

Sıcaklık Verisi: Aracın ECU sisteminden (CAN-BUS) ya da motor içerisindeki fan müşüründen alınan veridir. Alınan bu veri Arduino'nun analog pinine giriş yapar. Arduino 10 bitlik ADC ile verileri dijitalle çevirir. Bu şekilde girişten alınan sıcaklık verisi, dijital sinyal tipinde referans hız olarak işleme dahil olur.

Ref Hız: Prototip modelde test aşamalarında potansiyometrenin de kullanıldığı bu birim alınan veriyi önceden belirlediğimiz sıcaklık-hız grafiğinin çıkışına göre kontrol

sinyaline dönüştürür. Okunan sıcaklık verilerini sıcaklık-hız grafiğine göre yorumlayarak referans hız sinyalleri gönderir.

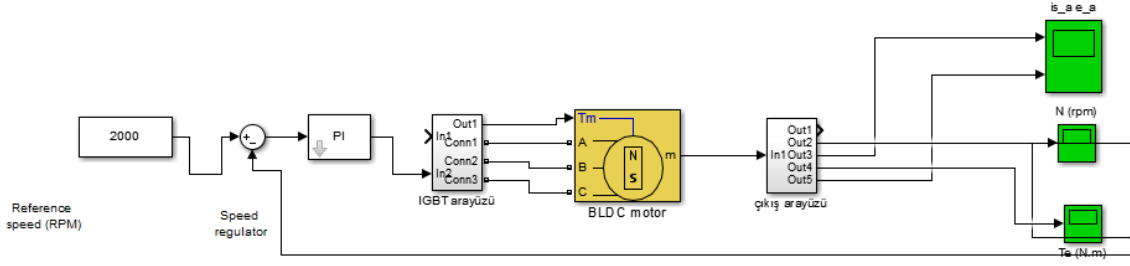
Sıcaklıkla değişen analog giriş 0-1024 arası veri sağlar. Şekil 3.4 analog giriş sıcaklık değişimini göstermektedir.



Şekil 3.4 Analog Giriş- Sıcaklık Grafiği

Yazılımsal olarak eğer sıcaklık 90°'yi geçerse fan çalıştırılır. Daha sonra sıcaklık 90°'yi aşarsa, aştığı oranda devir artırılır. Yani analog giriş 200 değerinde ise motor minimum hızda, 1024'te ise maximum hızda çalışır.

PI Hız Denetleyicisi: Gerçek hız ile referans hız kıyaslanır. Bu kıyaslama sonucunda oluşan hatalar, hata sinyali olarak PI denetleyisine girer. Burada Matlab simülasyonları sonucunda en optimum P ve I değerleri belirlenmiş, yazılımsal olarak Arduino'da kullanılabilir hale getirilmiştir. Hata sinyaline göre Arduino PWM sinyalleri üretir. PI çıkışı belli bir aralıkta olup bu hız değişkenine katsayı olarak etkir ve PWM çıkışını oluşturur.(kontrol sinyali). Aşağıda gösterilen simülasyonda, giriş ile çıkış hızı direkt olarak kıyaslanmıştır ve P/I değerlerine yaklaşımda bulunulmuştur. Şekil 3.5' te PI denetleyici ile matlab simülasyonu verilmiştir.

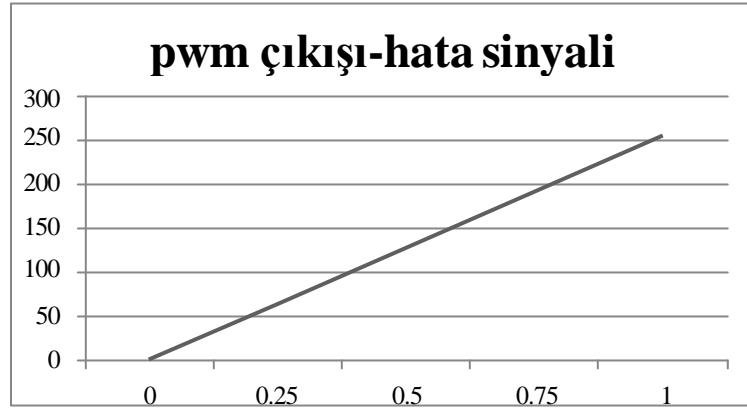


Şekil 3.5 PID denetleyici ile Matlab Simülasyonu

PI parametreleri çıkış tepkileri Matlab kullanılarak ölçülmüş ve deneysel olarak bulunmuştur. Analizleri Bölüm 4’ te verilmiştir.

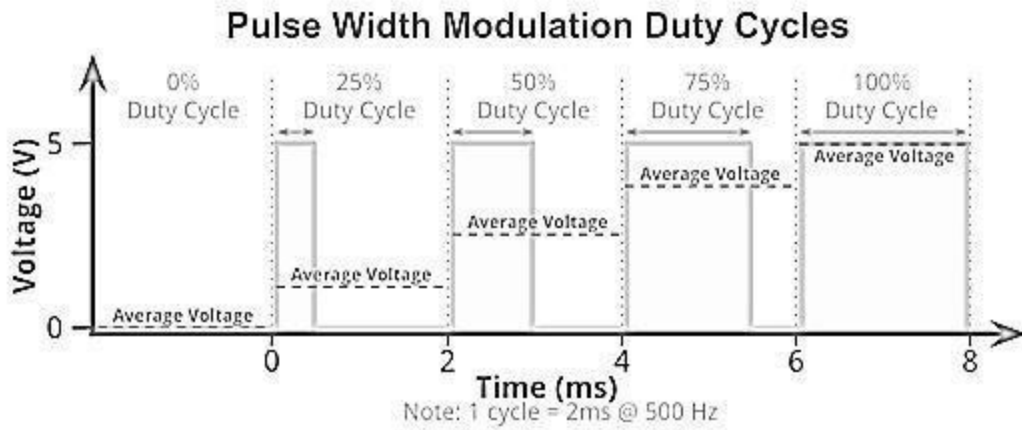
PWM Üretici: Kontrol işareti eviricide yarıiletken anahtarlara uygulanacak PWM işaretin boşluk-doluluk oranını belirleyecektir. Bu doluluk boşluk oranında ki değişim, DC gücün AC güce aktarımında gerilimi ve akımı kontrol ederek hız kontrolü sağlamış olur. PI’ dan gelecek olan data, yazılımsal olarak sıcaklık- hız grafiğine göre PWM doluluk-boşluk oranını oluşturur. Bu sinyaller Arduino’nun 8 bitlik dijital çıkışından 0-255 değerleri arasında oluşmaktadır.

PWM, doğru akım sinyallerinde Yüksek Kenar ve Alçak Kenar genişliklerinin orantısı üzerine kuruludur. Bir Yüksek Kenar ve Bir Düşük Kenardan oluşan çevrime periyot denir. Yapacağımız uygulama da Yüksek Kenar boyunca IGBT’ler tetiklenecek ve motorun sargılarına gerilim uygulanacaktır.[28] Daha sonra oluşturulan sinyaller optik izolasyon için opto kuplöre giriş yapar. Şekil 3.6’ da PWM Çıkışı- Hata Sinyali ilişkisi verilmiştir.



Şekil 3.6 PWM Çıkışı - Hata Sinyali Grafiği

Yukarıdaki grafikte PI denetleyicinden hata çıkışı 0-1 arası bir değer olarak çıkar. Bu değer bizim PWM çıkışımızı ve dolayısıyla doluluk-boşluk oranımızı ayarlar. Hata pozitif yönde arttıkça doluluk-boşluk oranında doluluk oranı artacak ve doğal olarak Arduino çıkış sinyali değeri artacaktır. Şekil 3.7 PWM Doluluk- Boşluk oranı verilmiştir.



Şekil 3.7 PWM Doluluk - Boşluk Oranı [29]

3.3.2 Opto-Kuplör

Opto-kuplör iki devreyi birbirinden fiziksel olarak ayırır. Elektriksel olarak yalıtım sağlayan opto-kuplörler sayesinde farklı akım değerleri birbirinden izole edilir. İzole edilmiş devre sorunsuz şekilde çalışır. [24]

Yapılacak izolasyonda herhangi bir gerilim seviyesinde değişim söz konusu olmayacaktır. Yani sürücü entegremiz ile denetleyicimizin gerilimleri birbirine eşit olup 5V'tur. Arduino mega çıkış akımı 40mA'e kadar sağlamaktadır. Entegre max 300 mikroamperde tetiklenebilmektedir.

Seçilen opto-kuplör 1 MHz'e kadar çalışabilmektedir. Bizim çalışma frekansımız 2 kHz'dir. Akım seviyesi opto-kuplör için 50mA'e kadar sıkıntı oluşturmamak tadır. Zaten kullanacağımız IGBT yalnızca 0.3mA seviyesindedir. Dolayısıyla bir problem oluşmaz.

3.3.3 IRAMX20UP60A

Insulated Gate Bipolar Transistor,4 katmandan oluşmaktadır. Güç elektroniği alanında anahtarlama elemanı olarak kullanılan IGBT'ler, sürücü sistemimizde araç DC bataryasındaki gücü AC güce çevirirler.

IRAMX20UP60A, hazır entegre bir IGBT modülüdür. Yüksek frekanslarda kararlı çalışma ve yüksek güç yoğunluğu nedeniyle tercih edilmiştir.

International Rectifier' firmasının IRAMX20UP60A modeli, havalandırma sistemleri ve kompresör sürücülerini gibi hafif endüstriyel alanlarda kullanılır.

Ürün son derece kompakt, basit dizayna sahip, izole edilmiş AC motor sürücülerinde yüksek performans sağlar.

Anahtarlama geriliminin düşük olmasının yanında, dahili sıcaklık ekranı ve lojik giriş koruma fonksiyonu, kısa devre durumu ve overvoltage durumunda kilitleme fonksiyonu vardır.

Tek hat kullanımlarında soğutucu ile birlikte tam güç aktarımına göre ve soğutucudaki izolasyon problemlerine göre baskı devresi gerektiği şekilde minimize edilmiştir.

Özellikleri:

Tümleşik kapı sürücüsü (İntegrated Gate Driver)

Sıcaklık görüntüleme

Yüksek akımda çalışmayı durdurma

Tamamen izole edilmiş paket

İletimde V_{CE} gerilimi 10 V civarındadır

Düşük gerilimde tüm kanalların kilitli konuma geçmesi

Tüm kanallarda yayılma gecikmesinin eş olması

Schmitt tetikleyicisinin giriş lojik gerilimi 5 V' tur

Çapraz iletim lojik koruması

Motor güç aralığı 2kW'a kadar çıkabilmektedir.

İzolasyonu enaz 2000 RMS değeri için geçerlidir

Tanımlanan dosya numarası: E252584

Çizelge 3.1'de modülün önemli değerleri verilmiştir.

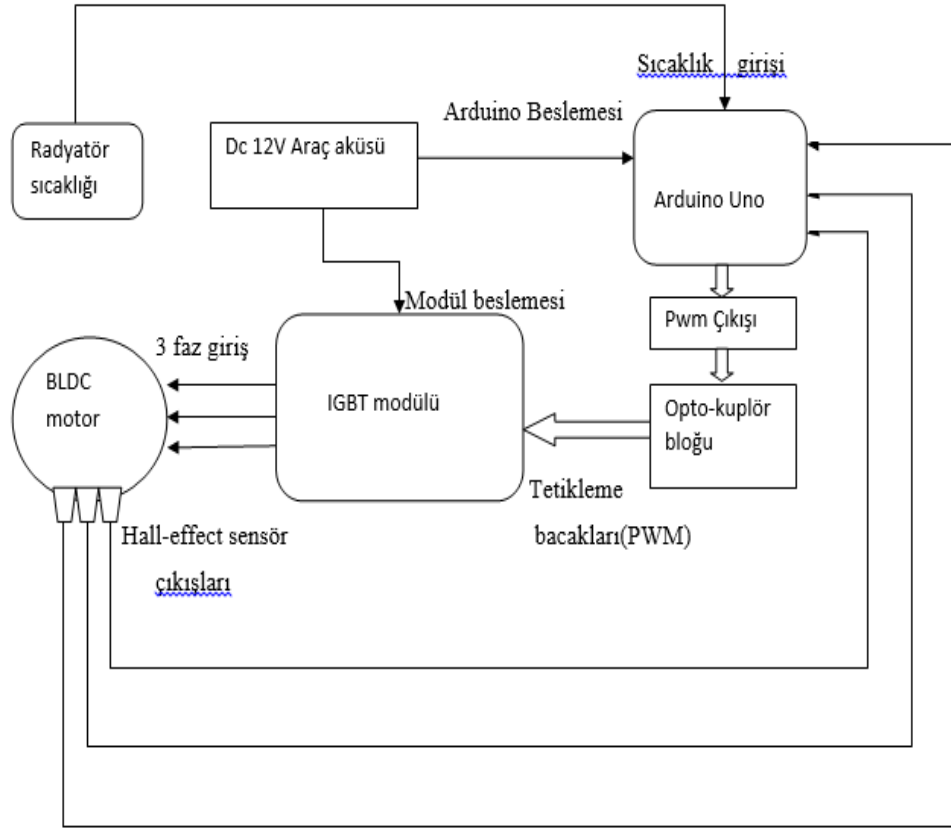
Çizelge 3.1 IR Modülünün Çalışma Değerleri

	Nominal Değer	Max Değer
Güç Devresi DC Llink	0-450V	600V
IGBT Akımı	20A	30A
Kontrol Devresi Besleme Gerilimi	7-12V	15V
IGBT Jonksiyon Sıcaklığı	25 °C	150 °C
PWM Frekansı	-	20kHz

Sistemimizin Çalışma Değerleri:

- Gerilim:12 V DC
- Akım:15A (ortalama)
- Çalışma Frekansı:2Khz
- Lojik Tetikleme Gerilim Seviyesi:5V

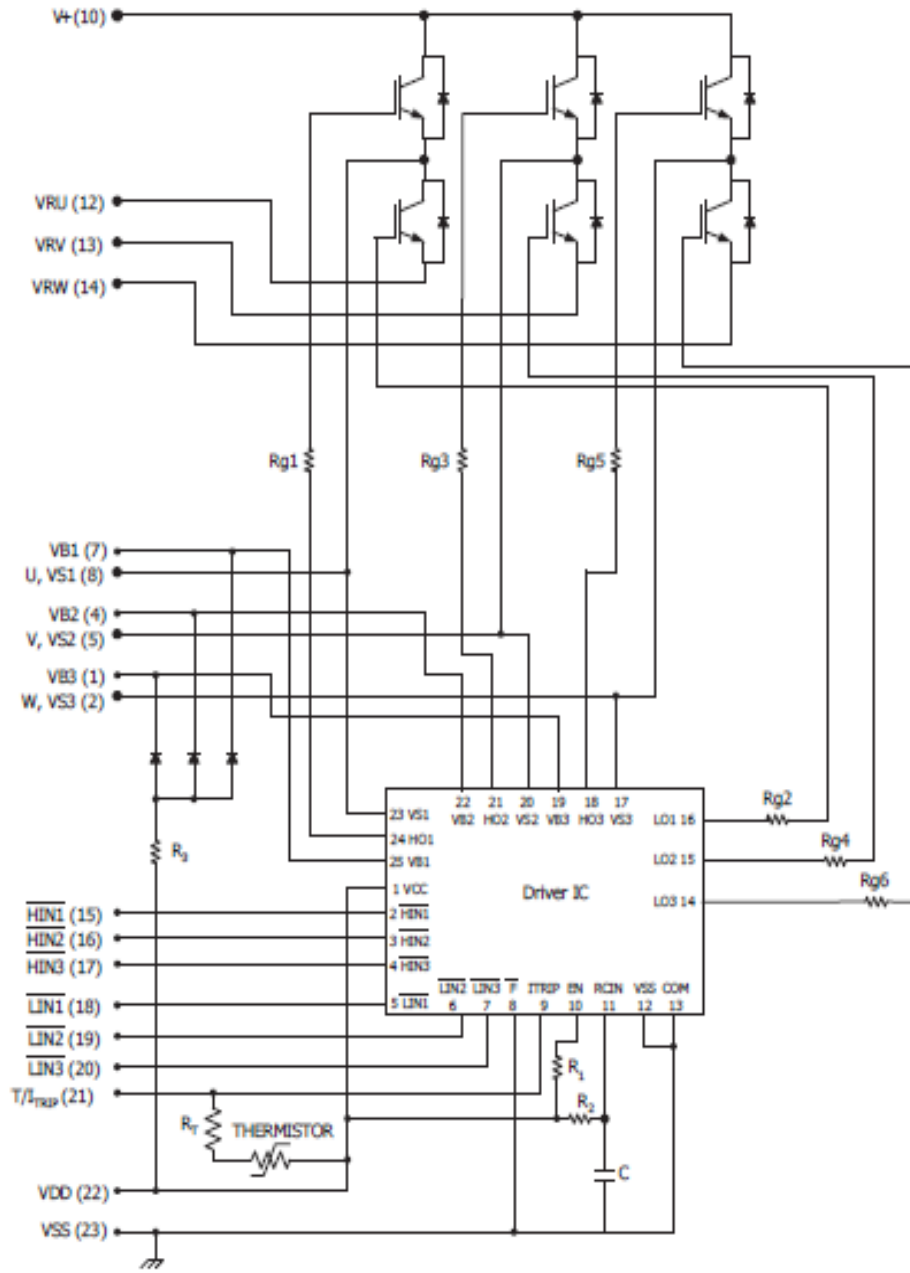
Aşağıdaki şekil 3.8 ‘de Tek Kapalı Çevrim ve Hız Geri beslemeli Modeli verilmiştir.



Şekil 3.8 Tek Kapalı Çevrim ve Hız Geri Beslemeli Model

Radyatör sıcaklığı denetleyiciye referans sıcaklık olarak girmektedir. Bu sıcaklık verisi motora hız verisi olarak iletilmektedir. Sıcaklık-Hız grafiğine bağlı olarak gereken hıza uygun doluluk-boşluk (PWM) sinyali IGBT modülüne giriş yapar ve bu modülde DC gücü istenildiği seviyede AC güce çevirir. Bu şekilde kontrol edilen gerilim sonucu hız kontrolü sağlanmış olur. Hall sensöründen gelen data ise gerçek hız girdisi olarak denetleyici içerisinde referans hız ile kıyaslanır ve hata ortaya çıkar. Bu hata PI kontrolcü ile kompanze edilerek gerekli doluluk boşluk oranını doğurur. Bu şekilde istenilen hız çıkışı aktarılmış olur.

Aşağıdaki şekil 3.9’ da IGBT Modülünün İç Elektriksel Şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.9 IGBT Modülün İç Elektriksel Şeması[30]

Çizelge 3.2’de IGBT modülünün denetleyici tarafından hangi bacaklarının hangi düzen ile açması gerektiğine dair bilgiler verilmiştir.15-16-17 bacaklarından HIGH girişleri,18-19-20 girişlerinden ise LOW girişleri sağlanır. Bu girişler tablolarda belirtildiği gibi lojik girdiler olup ACTIVE-LOW yani 1 ken 0,0 iken 1 mantığı ile çalışır.

Çizelge 3.2 FDAM Parametreleri

Hall Effect S. Durumu			Aktif Anahtarlar		İletimdeki Fazlar		
A	B	C			A	B	C
0	0	1	Q1	Q4	+	Boşta	-
0	0	0	Q1	Q2	+	-	Boşta
1	0	0	Q5	Q2	Boşta	-	+
1	1	0	Q5	Q6	-	Boşta	+
1	1	1	Q3	Q6	-	+	Boşta
0	1	1	Q3	Q4	Boşta	+	-

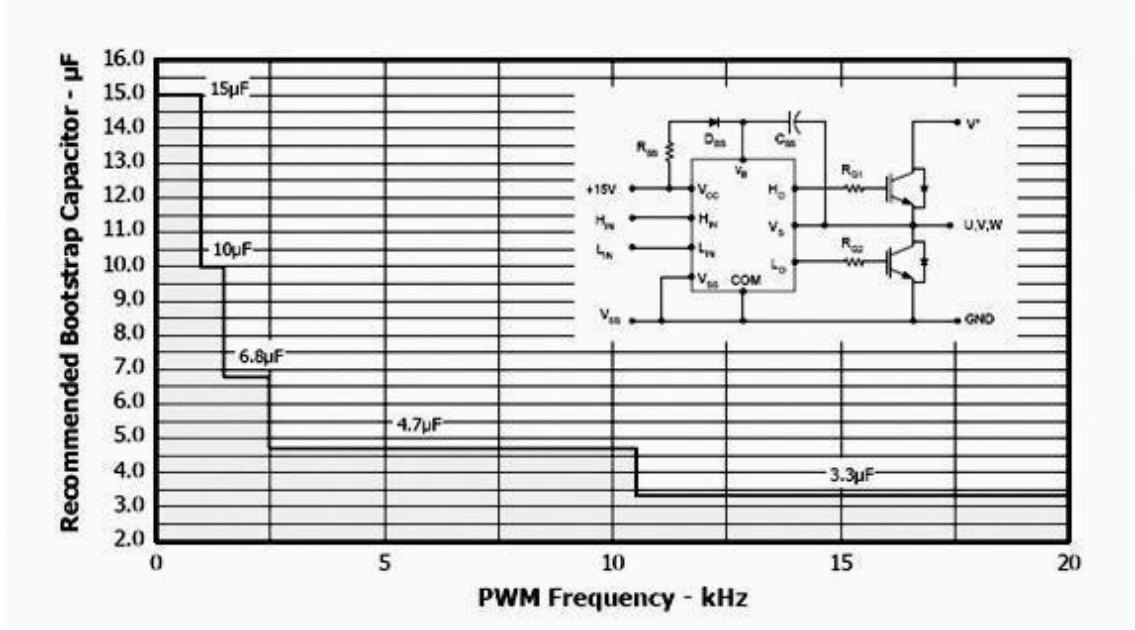
Tek kapalı çevrimli ve hız geri beslemeli denetim modeli Şekil 3.8' de görülmektedir.

Motor açısal hızı tayini için Hall sensörlerden biri kullanılır. Referans hız ile gerçek sensörden gelen gerçek hız karşılaştırılarak hız hatası elde edilir. Bu hız hatası, denetleyicide işlendikten sonra kontrol işaretine dönüştürülür. Darbe genişlik modülasyonu bloğunda kontrol işareti ile taşıyıcı işaret karşılaştırılarak rotorun konumuna göre, eviricinin altı yarıiletkeninin 2 tanesine gerekli doluluk-boşluk oranına göre iletim sağlanır.[1]

Bootstrap kapasitörlerinin kullanımında ki temel amaç Mosfet ve IGBT lerde ki tetikleme gerilimini sağlayabilmesidir. Gate geriliminin Source geriliminden tetikleme gerilimi kadar fazla olması için bu kondansatörler kullanılır.

Kullanacağımız modülün Bootstrap kapasitesi ile çalışma frekansı ilişkisi aşağıda ki şekilde verilmiştir. Dolayısıyla kullanmamız gereken kapasite yaklaşık 6.8 mikroFarad olmalıdır.[31]

Şekil 3.10' da PWM çalışma frekansı ve Bootstrap kapasitesi seçimi grafiği verilmiştir.



Şekil 3.10 PWM Çalışma Frekansı-Bootstrap Kapasitesi Seçimi Garfiği

3.3.4. FDAM

Kullanacağımız fırçasız doğru akım motorunun özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3 Anahtarlama Tablosu

Hall Effect S. Durumu			Aktif Anahtarlar		İletimdeki Fazlar		
A	B	C			A	B	C
0	0	1	Q1	Q4	+	Boşta	-
0	0	0	Q1	Q2	+	-	Boşta
1	0	0	Q5	Q2	Boşta	-	+
1	1	0	Q5	Q6	-	Boşta	+
1	1	1	Q3	Q6	-	+	Boşta
0	1	1	Q3	Q4	Boşta	+	-

Kullanacağımız fırçasız doğru akım motoru, dahili Hall sensör içermektedir. Motoru seçerken maximum hız, maximum akım ve çalışma gerilimi esas alınarak seçim yapılmıştır. Verilen nominal değerler aynı zamanda çalışma değerlerimizdir.

Fan Seçimi-Motor Gücü Seçimi:

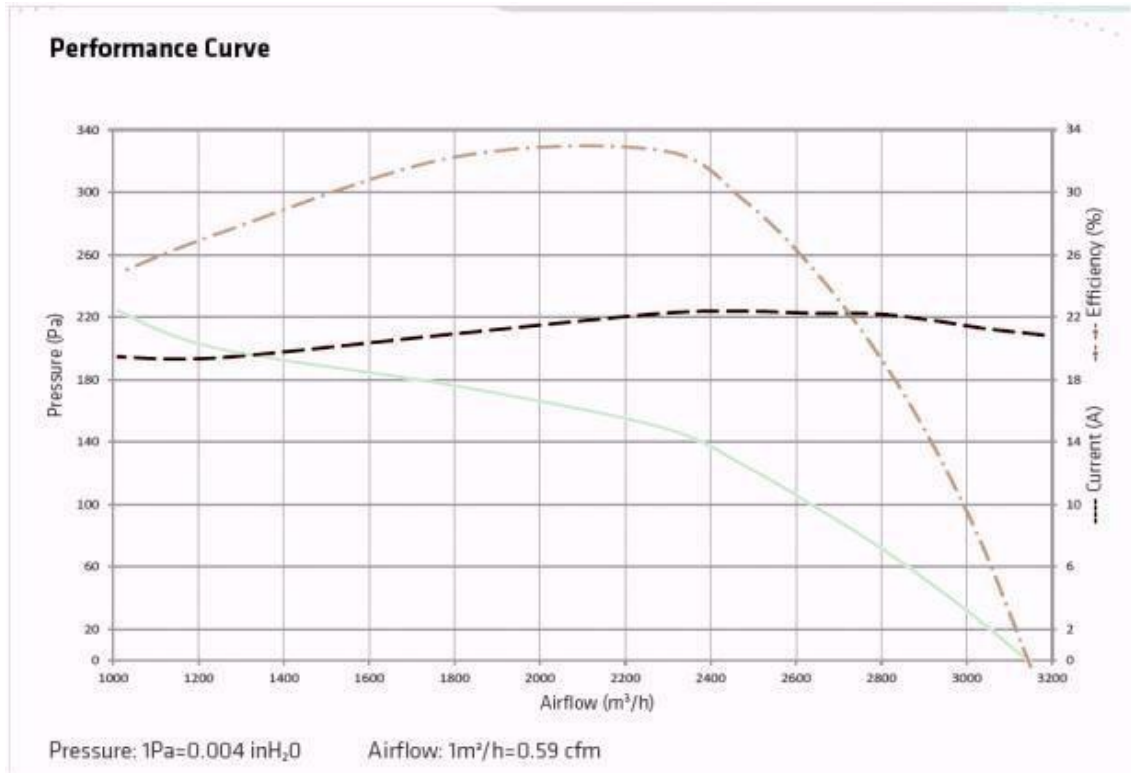
Yapacağımız sistem 350W gücünde olacaktır. DC giriş gerilimi motor giriş gerilimi ile aynı olmalıdır. Prototip model sıcaklık sensörü ve potansiyometre referans hız

belirlenip motorun devir kontrolü sağlanacaktır. İlerleyen dönemlerde ürün talep eğilimine göre aracın ECU sistemine tamamen uyumlu hale getirilecektir.




Alınacak olan sıcaklık verileri sonucunda motor hızı değişecektir. Simülasyonlar Matlab/Simulink ile oluşturulacaktır. PCB çizimleri Proteus'ta tasarlanacaktır.

Her otomobil için fan büyüklükleri değişmektedir. Ele alacağımız boyutlar piyasada daha çok tercih edilen A,B ve C segment araçlar içindir. Bu segmentlerdeki otomobiller de genellikle 385 mm'lik fan seçilmiştir(çap).

Kullanacağımız motorun maksimum gücü seçilirken, kullanacağımız fanın hava akışı/hava basıncı grafiğinden yararlanılmıştır. Burada güce etkiyen üç değişken verilmiştir (hava akışı, hava basıncı ve çalışma noktalarında fanın verimi). Aşağıdaki grafikte çalışma noktaları mevcuttur. Verilen performans eğrisi "Spal Automotive" ait, kullanacağımız fana aittir.



Şekil 3.11 Hava Akışı-Hava Basıncı İlişkisi

-  Hava akışı- hava basıncı çalışma noktaları
-  Akım
-  Verim

Yapılacak hesaplamalar öncelikle fanın hava ile temas eden yüzeyi için şu denklemlerle elde edilir.

$$P_{\text{Çfan}} = P_{\text{HB}} \times P_{\text{HA}} \quad (3.1)$$

$P_{\text{Çfan}}$: Fanın Çıkış Gücü

P_{HB} : Hava Basıncı (m^3/sn)

P_{HA} : Hava Akışı(Pascal)

Fanın çıkış gücü,mile aktarılan güç ile fanın o çalışma noktasında ki veriminin çarpımıdır.

$$P_{\text{Çfan}} = P_{\text{FM}} \times \eta_f \quad (3.2)$$

P_{FM} :Fan Motorunun Mil Gücü

η_f :Fan Verimi

Burada fanın istenilen çıkış gücüne göre mile aktarılması gereken güç hesaplanmıştır. Aşağıdaki tabloda belli çalışma noktaları için hesaplar gösterilmiştir.

Çizelge 3.4 Hava Akışı-Hava Basıncı Çalışma Noktaları

Çalışma noktaları	Basıncı Artımı(Pa)	Hava Debisi(m^3/s)	Fan Verimi(η_f)	Fan Mil Gücü(W)
1	220	0,277	% 24	253,91
2	205	0,333	% 26	262,55
3	195	0,388	% 28	270,21
4	185	0,444	% 31	264,96
5	175	0,5	% 32	273,43
6	165	0,555	% 33	277,5
7	155	0,611	% 32,5	291,4
8	140	0,666	% 31	300,77
9	110	0,722	% 25	317,68
10	75	0,777	% 19	306,71
11	35	0,833	% 10	291,55

Aynı hesaba girişten yaklaşalım.

$$P_g = V_{\text{kaynak}} \times I_{\text{ç}} \quad (3.3)$$

$$P_{\text{sç}} = P_g \times n_s \quad (3.4)$$

P_g : giriş gücü

$I_{\text{ç}}$: Kaynaktan çekilen akımdır.

V_{kaynak} : Sistemimiz için 12 aküdür.

n_s : Sürücünün verimi

$P_{\text{sç}}$: Sürücünün çıkışa aktardığı güç

P_{mg} : Motorun giriş gücü

Burada aküden çekilen güç önce sürücüye girmektedir. Sonra sürücü verimi ile çarpılarak sürücü çıkışından motor girişine aktarılır. Son olarak motora giren bu güç motorun verimi ile çarpılarak mile aktarılmaktadır.

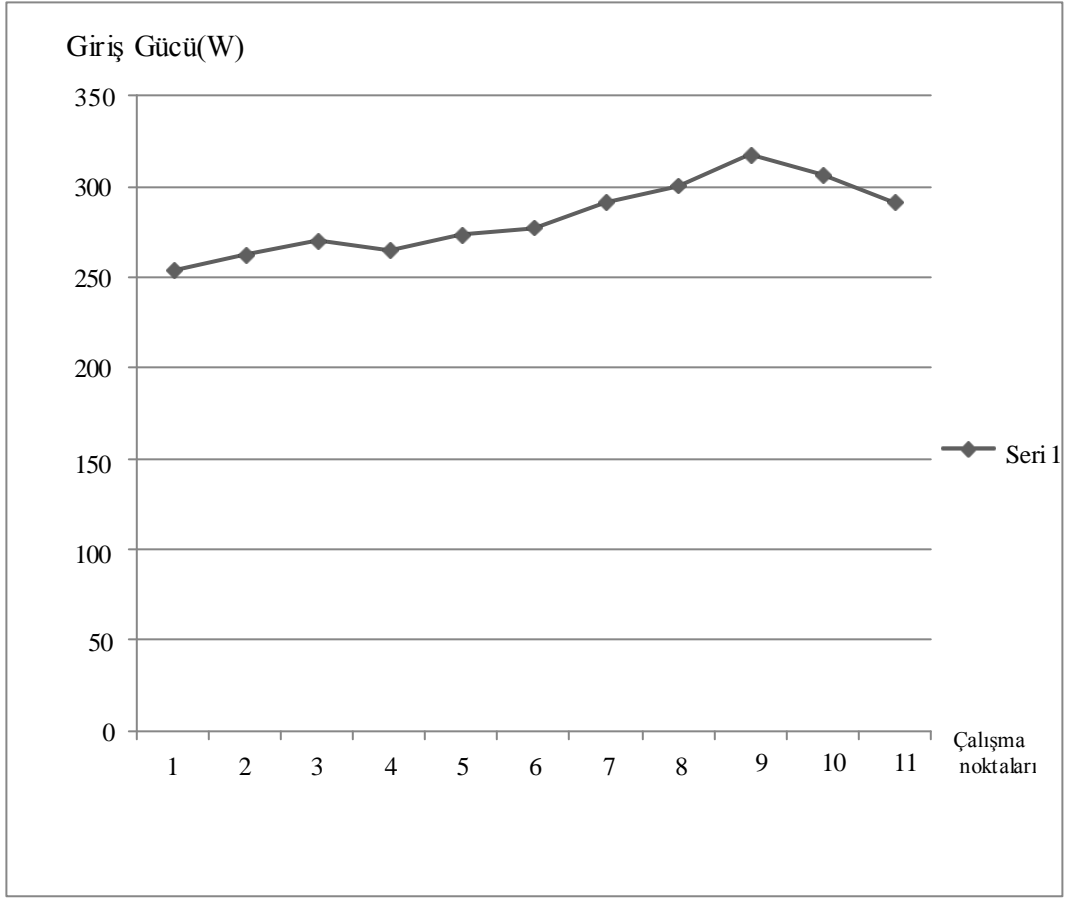
Motorun giriş gücünün ne kadarını mile aktardığını bulabilmek için ise:

$$P_{\text{FM}} = P_{\text{mg}} \times n_m \quad (3.5)$$

n_m : Motorun verimi

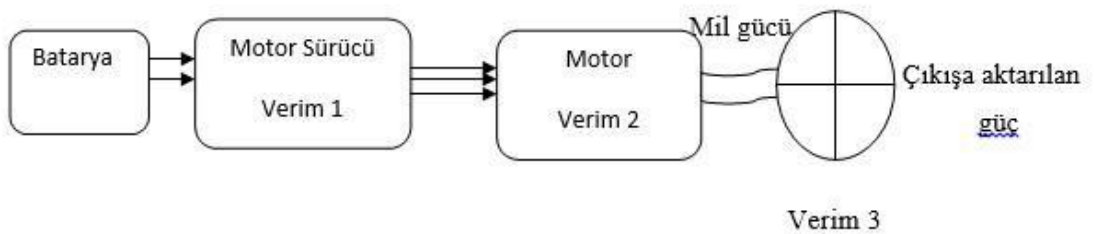
Burada motora aktarılan güç, motor verimi ile çarpılarak motorun miline aktarılan güç bulunmuştur.

Aynı çalışma noktaları için giriş güçleri aşağıdaki grafikte verilmiştir.



Şekil 3.12 Hava akışı-hava basıncı çalışma noktaları grafiği

Burada görüldüğü üzere fanın çıkışına aktarılması gereken güç, girişten itibaren aşağıdaki yol izlemektedir.



Şekil 3.13 Güç Akışı Blok Diyagramı

Not: Şekildeki verim1 sürücünün verimi, verim2 motorun verimi ve verim3 ise fanın mekanik verimidir.

Kısaca :

1.Çalışma noktası :

_____ , ,
 , ,

2.Çalışma noktası :

_____ , ,
 , ,

3. Çalışma noktası :

_____ , ,
 , ,

H_A : Hava Akışı (CFM)

P: Basıç (Pa)

P_g : Güç Girişi

n: Verim

V:Gerilim

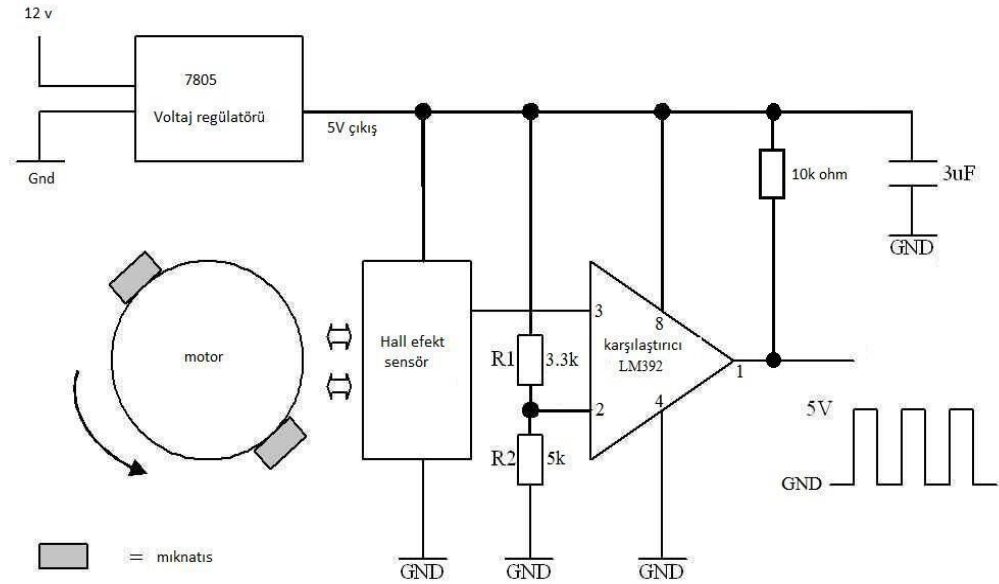
I:Akım

3.3.5. Hall Sensör

Motorun içinde dahili olarak bulunan Hall sensörleri bize konum ve hız bilgisini vermektedir. Alınan konum bilgisine göre IGBT modülünde tetiklenmesi gereken bacaklara karar verilir. Bu işlemler tamamen yazılımsal olarak Arduino içerisinde gerçekleştirilir.

Mikrodenetleyicide bir adet sinyal yakalama girişı kullanılacaktır. Hall sensörler rotor hızına bağılı değışen frekansta kare dalga üretir. Yani sinyal yakalama işleminde iki yüksek kenar arasındaki süre belirlenerek hız hesabı yapılacaktır.

Aşağıda Şekil 3.14 temsili bir hall sensörünün iç yapısını gösterilmektedir.



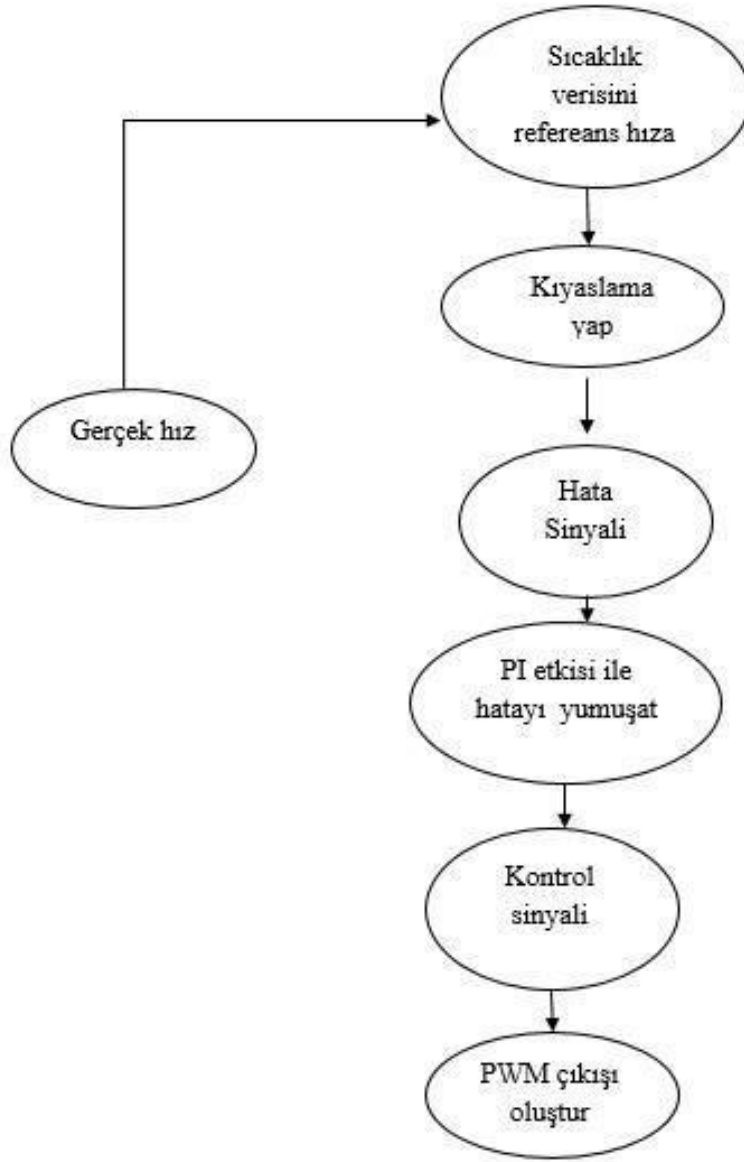
Şekil 3.14 Hall-Etkili Sensör İç Yapısı

3.4. Yazılımlar

Sistemin güç hesaplamaları için Matlab kullanıldı. Matlab hesaplamaları sonucu moment, hız, güç verileri ve PI parametreleri bulundu.

Proteus'ta ise bileşenlerin simülasyonları yapıldı. Komponent analizi ve elektriksel devre hesaplamaları yapıldı.

Arduino yazılımı içerisinde ki algoritma akışı Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



Şekil 3.15 Yazılı ma Ait Akış Algoritması

3.6. Malzeme Listesi ve Ekonomik Analiz

Çizelge 3.5 Malezeme Listesi

Malzemenin adı	Kullanım amacı	adet		Fiyatı
PCB baskı devresi	Kart basımı	400tl	4	400 tı
Brushless DC motor	Fan motoru	\$69.00+ kdv+kargo	1	\$69.00+kdv +kargo=450tl
Motor Sürücü(hazır)	Motor parametrelerinin belirlenmesi	\$49.5+kadv+kargo	1	\$49.5+kdv +kargo=300tl
Mikrokontrolcü ve Geliştirme kiti	Sürücü kartının mikrodenetleyicisi	150tl	3	450 tı
Multimetre	Ölçüm	50tl	1	50tl
Evirici Entegre	Güç katı	\$32.81	2	\$65.00=195tl
Güç Kaynağı	Güç kaynağı	415tl	1	415tl
Kablo-soketler	Bağlantılar	250 tı	1	250 tı
Mini Osiloskop	Sinyal ölçümü,kıyası	900tl	1	900tl
Çeşitli Araç Gereçler	Kart basımında kullanılan pense,bant,havya vs bir çok araç ve gereç	400 tı		400 tı
diğer	Beklenmeyen giderler(güç katı,denetleyici ve motor yedeklemesi için ayrılan miktardır)			500tl
TOPLAM				4310tl

Yapılan fiyatlandırma prototip model için her türlü ihtiyaç öngörülerek, yurtdışı ortalama birim fiyatı olarak çıkartılmıştır.Tasarlanan ürünün tamamının eldesi için gerekli malzeme ve ekipman listede yer almaktadır.

Tubitak desteği onayından sonra,vaat edilen desteğin gecikmesinden kaynaklanan ürün alımı yurtiçinden gerçekleşmiştir.Dolayısıyla fiyatlar değişiklik göstermektedir.Yurtiçi alımından kaynaklanan maliyet artışı sonucu desteğin yetersiz kaldığı noktalarda,özellikle ölçüm ve güç kaynağı ekipmanlarımız okul tarafından karşılanmıştır.

4. SİMÜLASYON (BENZETİM)ÇALIŞMALARI

4.1. Matlab Simülasyon Çalışması

4.1.1 Genel Bilgiler

Matlab’ da simülasyonun amacı, gerçeği temsil etmesinden kaynaklanmaktadır. Günümüzde hemen hemen tüm işletmelerin tüm ihtiyaç ve faaliyetlerinde benzetim teknikleri kullanılmaktadır. Matlab ise, mühendislik alanında, matematiksel modeli çıkartılmış bir sistemin simülasyonunda oldukça başarılıdır.[32]

Matlab geniş bir blok kütüphanesine sahiptir. Simulink uzantısı ile birlikte özellikle simülasyon ve dinamik sistemlerin analizi yapılabilmektedir.[33]

Bu projenin simülasyon (benzetim) çalışmalarında, Matlab programında Fırçasız DC Motorun Hız-Kontrol Denetimi çalışması yapılmıştır. Bu modül; 350 W, 12 Vdc, 3000 devir / dakika olarak derecelendirilmiş üç fazlı motor, altı kademeli bir voltaj dönüştürücü ile beslenir. DC voltajı kontrol etmek için bir hız regülatörü kullanılır. İnverter kapısı sinyalleri, motorun Hall efekti sinyallerini çözerek üretilir. İnverterin üç fazlı çıkışı FDAM bloğunun stator sargılarına uygulanır. Yük momenti 0.3 sn de 0.3 N m torkuna yükseltilir.

4.2.2 Simülasyon Yazılımı

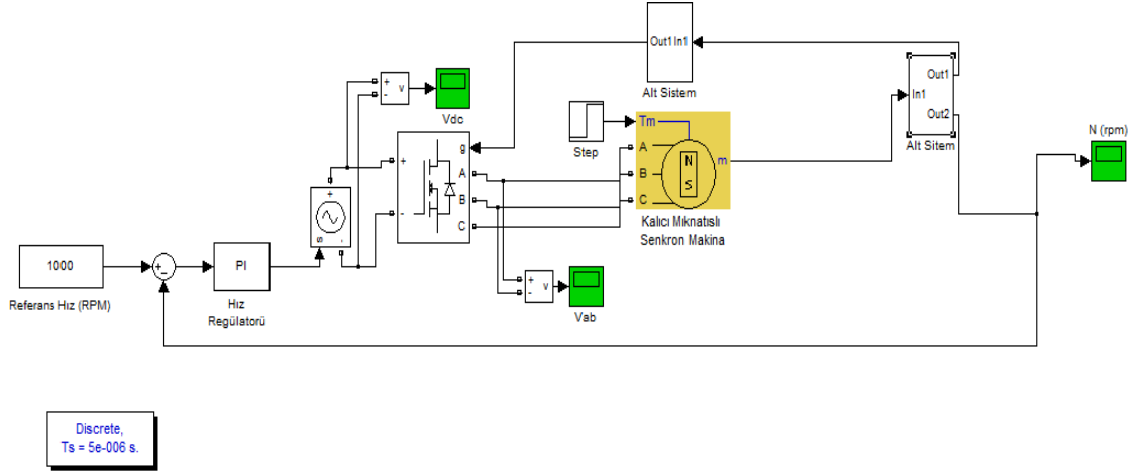
Fırçasız DC Motorun Motor Hız-Kontrol Denetim simülasyonunu yaparken bu modüle motor parametreleri uyguladık. Bu parametreler aşağıda belirtilmiştir.

Çizelge 4.1 Simülasyon Çalışmasında Kullanılan Parametreler

Kutup Sayısı	8
Faz Sayısı	3
Anma Gerilimi(V)	12
Anma Hızı(RPM)	1500
Anma Torku(N m)	0.25
Maksimum Tepe Torku(Nm)	0.75
Moment Sabiti(N m/A)	0.036
Terminal Direnci(Ohm)	0.28
Endüktans(mH)	0.54
Nominal Hızda B.E.M.F (Vrms)	15.2
Maksimum Akım (A)	30
Uzunluk(mm)	100
Rotor Ataleti()	96
Ağırlık(Kg)	0.8

4.2.3 Sistem Modelleme

Yukarıda belirtilen parametreler sisteme girildikten sonra; en uygun PI değeri P için 3, I için 1 olmuştur. Bu değerler ile 0.3 Nm'lik bir yükte 0.1'inci saniyeden daha kısa sürede kararlılık sağlanmıştır. Bu simülasyon sırasında 4 ayrı deney yapılmıştır. Bu deneylerde farklı referans hızlardaki kararlılıklar incelenmiştir.



Şekil 4.1 Fırçasız DC Motorun Hız-Kontrol Denetimi Modülü

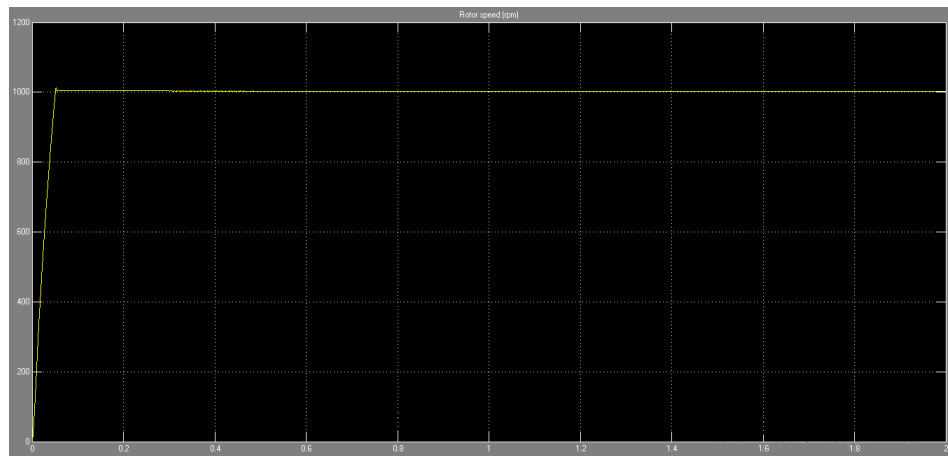
Bu çalışma da Matlab/Simulink paketi kullanılarak, değişken hız parametrelerine göre sistemin verdiği tepkiler ölçülmüştür. Hız değiştiğinde, yük momentinin değişimi, çekilen akımın değişimi gibi parametreler gözlemlenerek, yorumlanmıştır. Ancak uygulamamızda ki temel amaç sistemin değişken hıza vereceği tepkinin kararlılığıdır.

4.2.4 Simülasyon

Matlab ortamında 4 farklı deney yapılmıştır. Yukarıda hazırlanan simülasyonun eldeler, sonuçlar kısmında proje sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Aşağıda ise tasarım kısmında yapılan simülasyonlar anlatılmıştır.

DENEY1

Bu deneyde referans giriş değeri 1000 rpm seçilmiştir. Bu giriş değerinde sistem, 0.1 saniyedendaha kısa bir zamanda kararlılık göstermiştir.



Şekil 4.2 Deney1 Sistem Kararlılık Grafiği

Sistemimiz istediğimiz aşma değerlerindedir. Aynı zamanda çok kısa sürede kararlılık sağlaması ve sürekli durum hatasının sıfır olması amaçlandığı gibi sonuç vermiştir.

DENEY2

Bu deneyde referans giriş değeri 1500 rpm seçilmiştir. Bu giriş değerinde sistem 0.1 saniyede kararlılık göstermiştir.

DENEY3

Bu deneyde referans giriş değeri 1750 rpm seçilmiştir. Bu giriş değerinde sistem 0.12 saniyede kararlılık göstermiştir.

DENEY4

Bu deneyde referans giriş değeri 2000 rpm seçilmiştir. Bu giriş değerinde sistem 0.18 saniyede kararlılık göstermiştir.

Aynı şekilde 2. 3. ve 4. şekillerde de kararlılık, sürekli çalışma hatası ve aşma değerleri istenilen aralıktadır.

4.2.Opto-Kuplör Simulasyon Çalışması

4.2.1. Genel Bilgiler

Opto-Kuplör iki devreyi birbirinden ayırarak yani elektriksel olarak birbirinden ayırarak farklı akımların aynı devre içerisinde birbirinden izole edilip güvenli bir şekilde akmasını ve devrenin sorunsuz bir şekilde çalışmasını sağlar. Proteus programı ile Opto-Kuplör devre çizimi gerçekleştirildi. Giriş uçlarında bir LED diyot ve çıkış uçlarında LED diyotun yaydığı ışıktan etkilenecek iletimi sağlayan bir adet foto eleman bulunan optokuplörlerin giriş uçlarına elektrik akımı verildiğinde LED diyot ışık yayar ve yayılan bu ışık fototransistör tarafından algılanarak iletme geçirilir. Bu sayede elektrik akımı ışık ile iletilir. Böylece farklı gerilimler birbirinden ayırt edilerek devrenin sorunsuz çalışması sağlanır.

4.2.2. Simülasyon Yazılımı

Yapılacak izolasyonda herhangi bir gerilim seviyesinde değişim söz konusu olmayacaktır. Yani sürücü entegremiz ile denetleyicimizin gerilimleri birbirine eşit olup

5V'tur.Arduino mega çıkış akımı 40ma'e kadar sağlamaktadır. Entegre max 300 mikroamperde tetiklenebilmektedir.

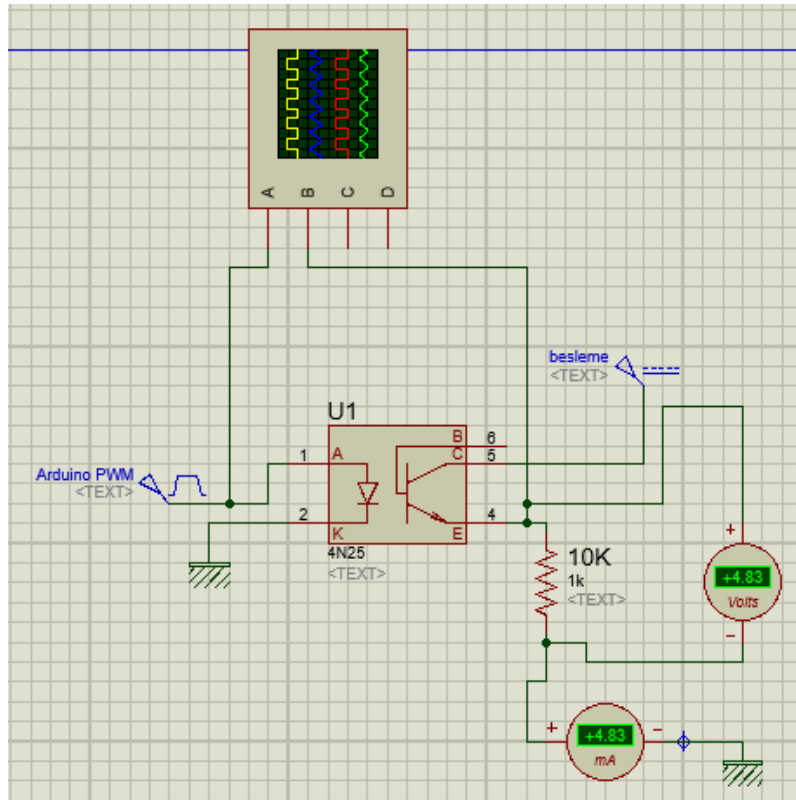
Seçilen opto-kuplör 1 MHz e kadar çalışabilmektedir. Bizim çalışma frekansımız 2 kHz'dir. Akım seviyesi opto-kuplör için 50 mA'e kadar sıkıntı oluşturmamaktadır. Zaten kullanacağımız IGBT yalnızca 0.3 mA seviyesindedir. Dolayısıyla bir problem oluşmaz.

Ayrıca sistemin sağ tarafında 5 V besleme yapılmıştır. Gerekliği takdirde yapılan 12 V besleme de bölünerek 5 V tetikleme gerilimi eldeedilebilir.

4 adet çalışma noktası belirlenmiştir. Bunlar duty cycle değiştirilerek elde edildi.%25, %50, %75 ve %100 dür. Çalışma devresiaşağıdadır.

4.2.3. SistemModelleme

Proteus programıyla Opto-Kuplör'ün devre şeması yapılmıştır.



Şekil4.3 Opto-Kuplör DevreŞeması

Kullanılan Opto-Kuplör'ün özellikleri;

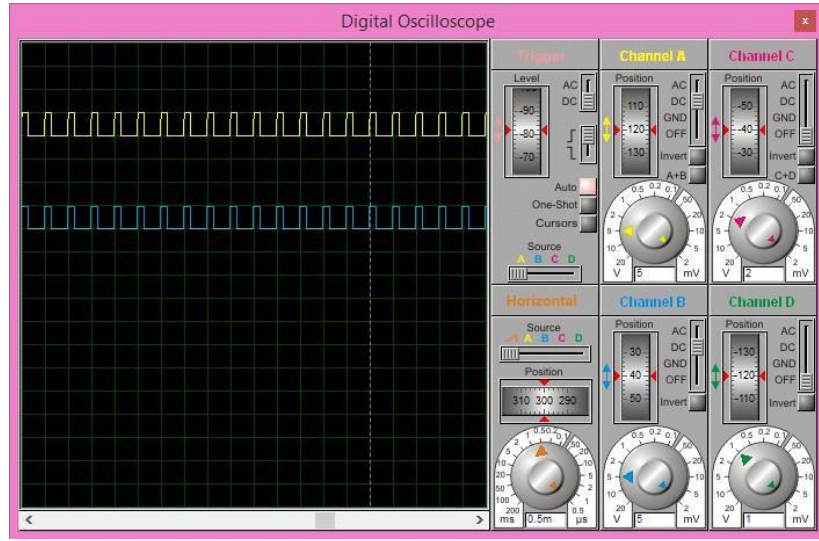
Çizelge 4.2 Opto-Kuplör Parametreleri

Mutlak Maksimum Derece				
Parametreler	Test Durumu	Sembol	Değer	Birim
Giriş Verisi				
Ters Gerilim			5	V
İleri Akım			60	mA
DalgalandanAkım	$t \geq 10 \mu s$		3	A
Güç Dağılımı			100	mW
Çıkış Verisi				
Kollektör Emitör Dayanma Gerilimi			70	V
Emitör Baz Dayanma Gerilimi			7	V
Kollektör Akımı			50	mA
	$t \leq 1 ms$		100	mA
Güç Dağılımı			150	mW

4.3.4.Simülasyon

4 adet çalışma noktası belirlenmiştir. Bunlar duty cycle değiştirilerek elde edildi.%25,%50,%75 ve %100 dür. Çalışma devresi aşağıdadır. Sonuçlarda tek tek sunulmuştur. Bu simülasyondaki amaç, değişen boşluk-doluluk oranına, opto-kuplörün vereceği tepkileriölçülmesidir.

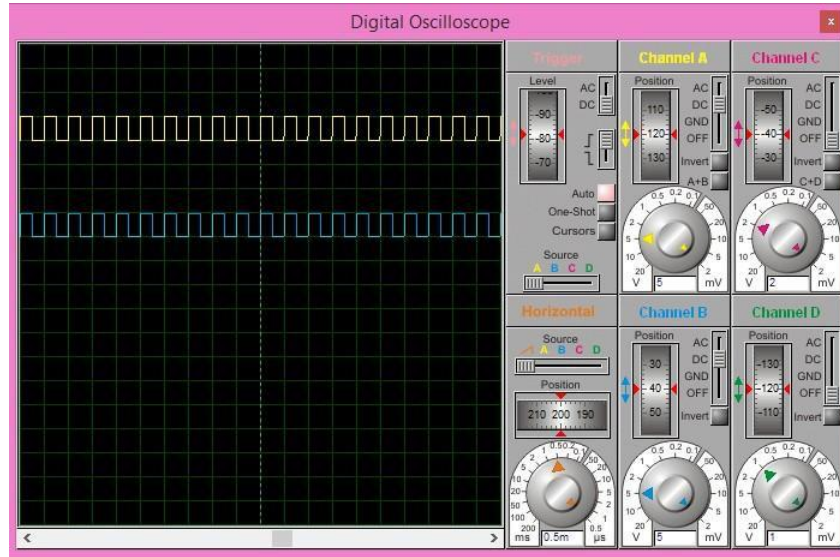
1) Duty Cycle %25



Şekil 4.4 Boşluk-Doluluk Oranı % 25 İçin Opto-Kuplör Çalışması

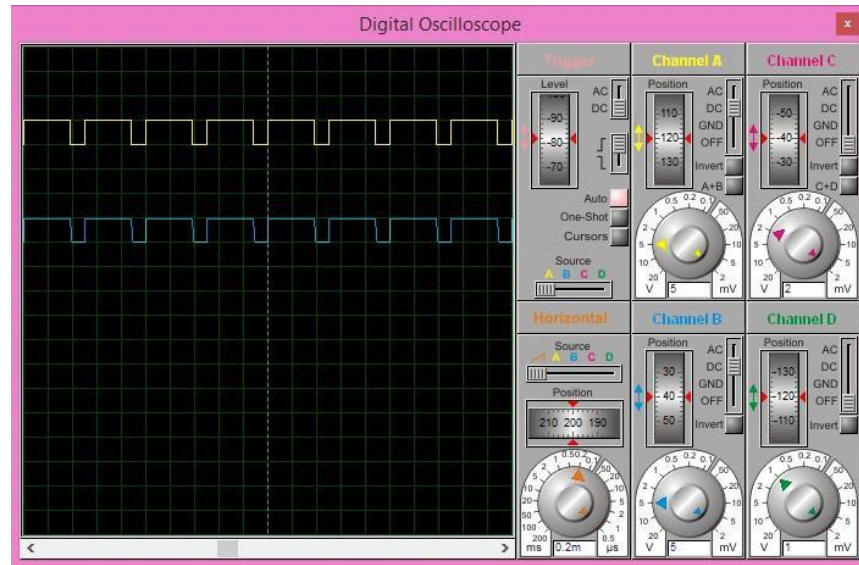
Görüldüğü üzere Opto-kuplör %25 doluluk oranında ki çalışmada herhangi bir problem oluşturmamıştır. Oluşturulan PWM sinyali aynı şekilde aktarmıştır.

2) Duty Cycle %50



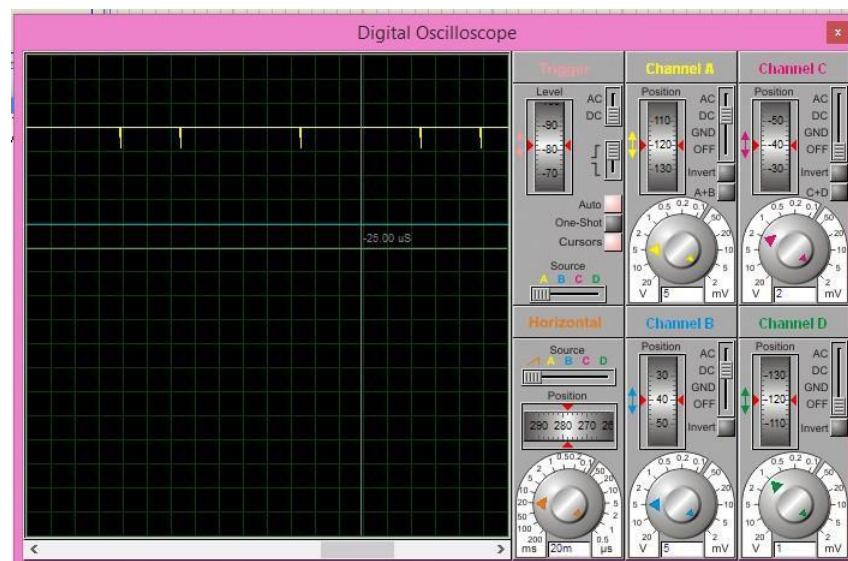
Şekil 4.5 Boşluk-Doluluk Oranı % 50 İçin Opto-Kuplör Çalışması

3) *Duty Cycle %75*



Şekil 4.6 Boşluk-Doluluk Oranı % 75 İçin Opto-Kuplör Çalışması

4) *Duty Cycle %100*



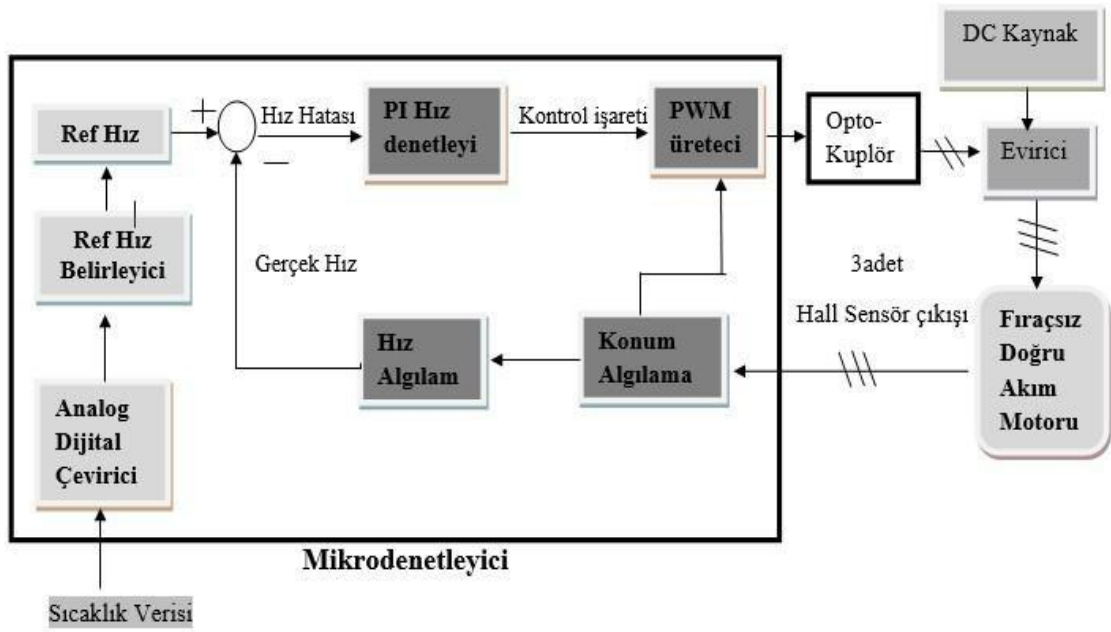
Şekil 4.7 Boşluk-Doluluk Oranı % 100 İçin Opto-Kuplör Çalışması

Şekil 4.8, şekil 4.9 ve şekil 4.10’de görüldüğü üzere çalışma frekansımızda, kullandığımız opto-kuplör herhangi bir gecikmeye uğramamıştır. Dolayısıyla PWM sinyallerimizi çok yüksek oranda doğru taşımıştır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Topolojisi belirlenen sistemin uygulamasında adımlar tek tek incelenerek atılmıştır. Öncelikle evirici modül çalıştırılmış daha sonra ihtiyaç olan sürücü sinyallerine uygun denetleyici sinyalleri üretilmiştir. Sonraki adımda motorun gerekli parametreleri elde edilmiştir. Son olarak PI yazılımı hazırlanmış ve sistem entegre edilerek bir bütün halinde test edilmiştir.

Aşağıdaki genel işleyiş blok diyagramlarına uygun olarak adımlar tek tek anlatılacaktır.

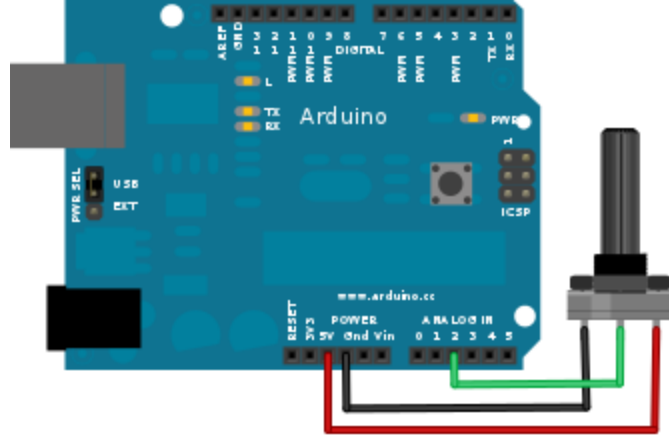


Şekil 5.1 Sistemin Genel İşleyişi Blok Diyagramı

Önce referans giriş eldesi daha sonra PI bloğu ve çıkış sinyali son olarak da evirici katılanacaktır.

5.1 Referans hız sinyali

Bu bölümde sıcaklık verisi denetleyiciye girdi olarak sağlanmalıdır. Prototip model için bu girdi potansiyometre ile sağlanmıştır. Potansiyometre 3 bacaklı bir eleman olup 1. ve 3. Bacaklarına (herhangi bir noktası referans alınabilir) 5V gerilim sağlandığında orta baktan potun değişimine göre gerilim değişim elde edilebilir. Bu değişim denetleyicimize hız bilgisi olarak girdi sağlar.



Şekil 5.2 Arduino Potansiyometre Bağlantısı

Yukarıda potansiyometrenin temsili bağlantısı gösterilmiştir. Sistemimizde potansiyometre Analog 2. pininden giriş sağlayarak 10 bitlik ADC ile yazılımsal olarak bizlere 0-1023 arasında değerler sunmaktadır. Gerekli değerler için yazılım bloğu şu şekildedir:

```
Dosya Düzenle Taslak Araçlar Yardım
sketch_may24a.s
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  int POTdegeri = analogRead(A2);
  Serial.println(POTdegeri);
}
5 Arduino Uno on COM9
```

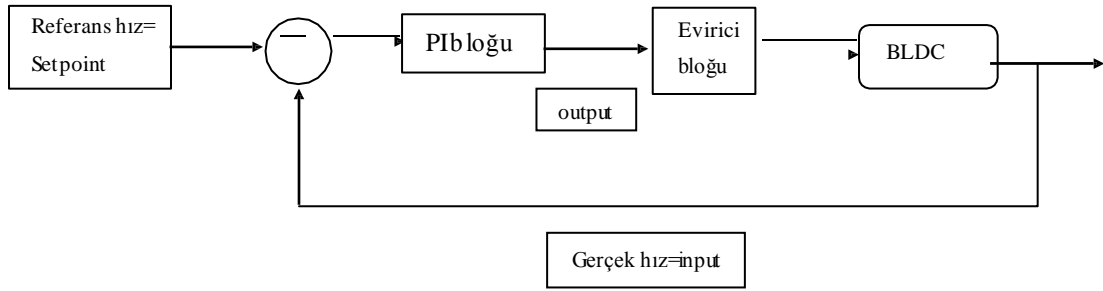
Şekil 5.3 10 Bitlik ADC ile pot okuma

Şekildeki kod bloğu potansiyometreden alınan veriyi ekranda göstermektedir. Bir sonraki adımda bu değer ile ölçülen hız değerinin farkı alınarak PI denetleyici bloğuna giriş sağlanacaktır.

5.2 PI Bloğu

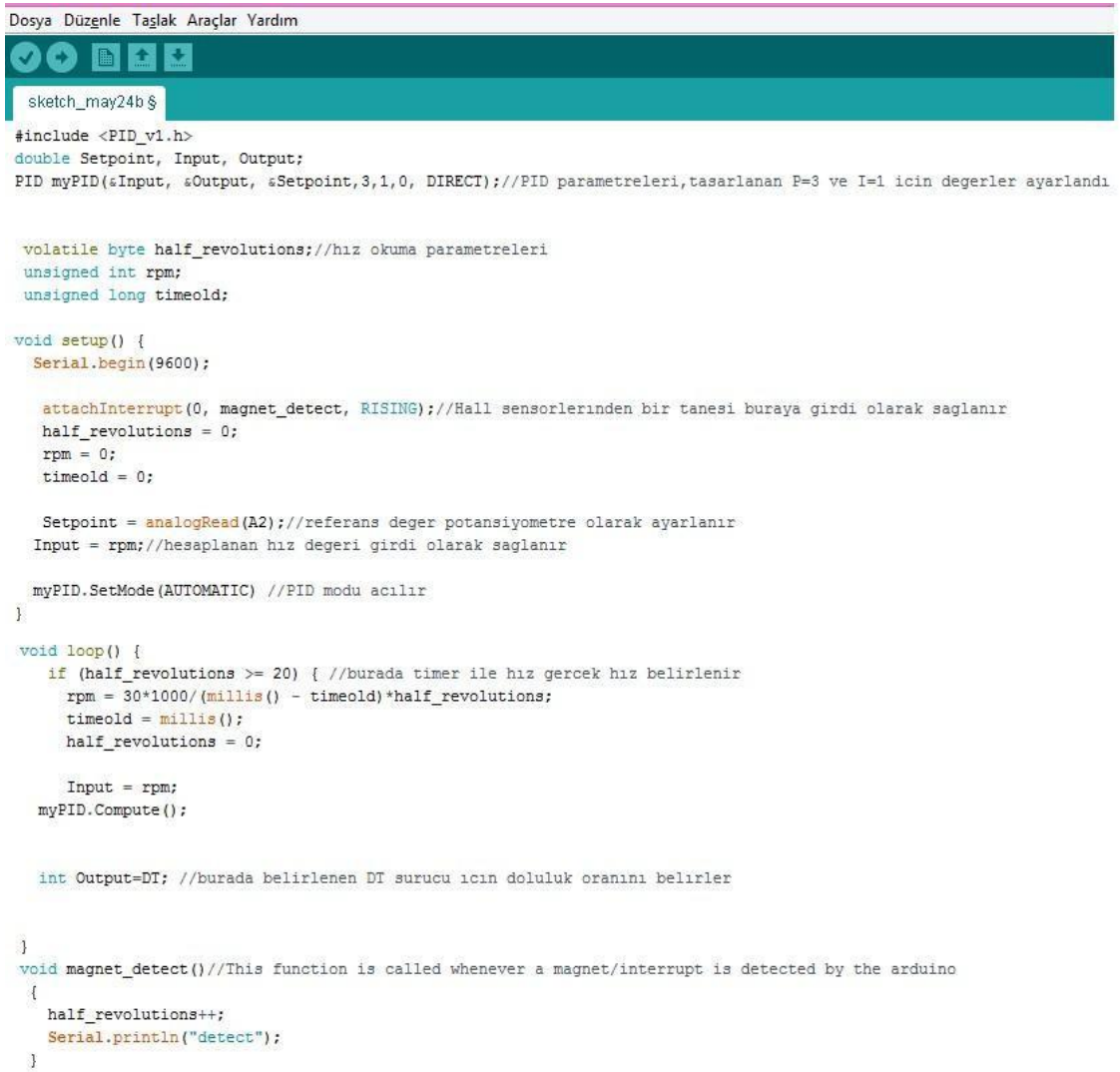
Arduino da PI gerçekleştirmek için PID kütüphanesinde yararlanılabilir. Arduino.cc adresinden elde edilebilecek olan açık kaynak kodu şu şekilde kullanılır.

- Bir input sağlanır ki bu input sistemde kontrol edilmesi gereken değişkendir. Projemiz için bu input değeri feedback ile elde edilen gerçek hız değeridir.
- Bir output elde edilir, bu değer PID ile kontrol edilmeye çalışılan değişkendir, sistemde çıkış olarak ayarlanacaktır.
- Set Point değeri ise istenilen referans hız değeridir. Bu değişken direk olarak potansiyometreye bağlanacaktır.



Şekil 5.4 Sistem Blok Diyagramı

Burada output olarak gösterilen değişken IGBT bloğunda doluluk oranını sağlayan değişkenle eşleştirilmektedir. Aşağıda verilen yazılımda hall sensöründen hız elde edilerek gerçek hız değeri olarak sisteme girdi sağlar. Burada Hall sensörlerinden bir tanesi kullanılmış olup interrupt bacağına bağlanmıştır. DT adlı değişken ise sürücüye gönderilecek sinyallerde oluşturulacak PWM' in doluluk oranı olarak belirlenmiştir.



```
Dosya Düzenle Tağlar Araçlar Yardım
sketch_may24b $
#include <PID_v1.h>
double Setpoint, Input, Output;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, 3, 1, 0, DIRECT); //PID parametreleri, tasarlanan P=3 ve I=1 için değerler ayarlandı

volatile byte half_revolutions; //hız okuma parametreleri
unsigned int rpm;
unsigned long timeold;

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  attachInterrupt(0, magnet_detect, RISING); //Hall sensorlerinden bir tanesi buraya girdi olarak sağlanır
  half_revolutions = 0;
  rpm = 0;
  timeold = 0;

  Setpoint = analogRead(A2); //referans değer potansiyometre olarak ayarlanır
  Input = rpm; //hesaplanan hız değeri girdi olarak sağlanır

  myPID.SetMode(AUTOMATIC) //PID modu açılır
}

void loop() {
  if (half_revolutions >= 20) { //burada timer ile hız gerçek hız belirlenir
    rpm = 30*1000/(millis() - timeold)*half_revolutions;
    timeold = millis();
    half_revolutions = 0;

    Input = rpm;
    myPID.Compute();

    int Output=DT; //burada belirlenen DT sürücü için doluluk oranını belirler
  }

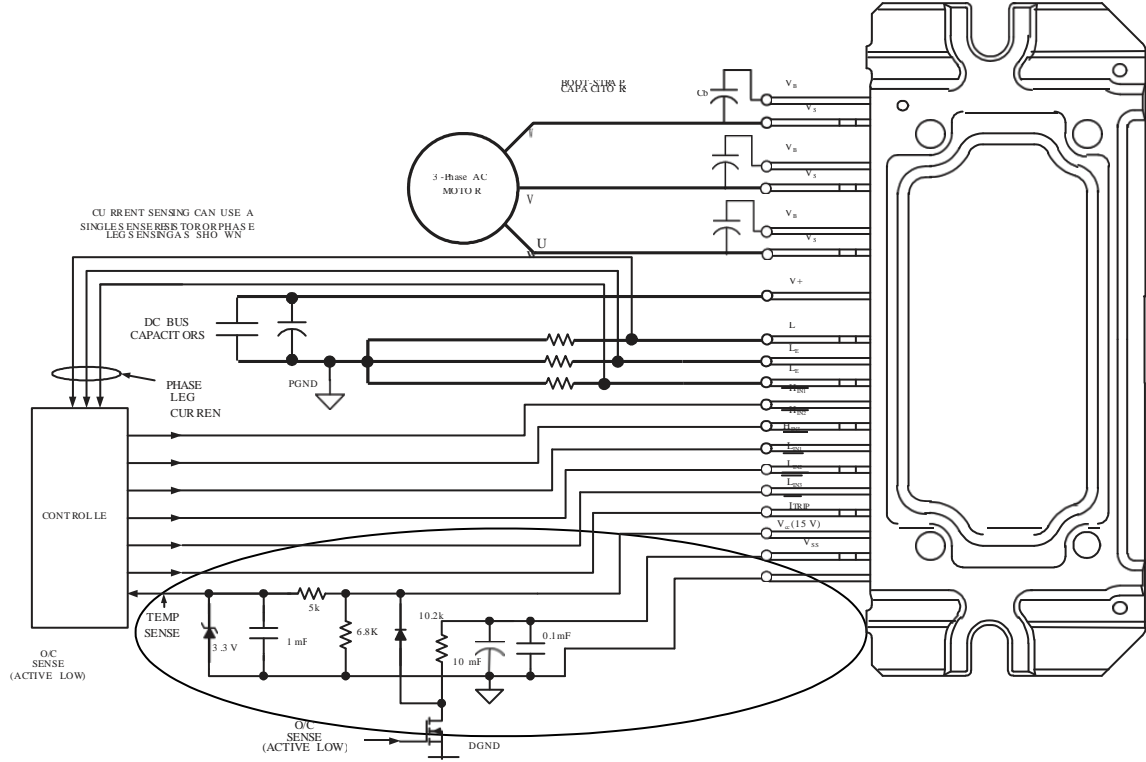
  void magnet_detect() //This function is called whenever a magnet/interrupt is detected by the arduino
  {
    half_revolutions++;
    Serial.println("detect");
  }
}
```

Şekil 5.5 Yazılımsal PID

Sonuç olarak burada kartın içindeki DT değişkeni 0-255 arası bir değer oluşturmaktadır. Bu değer IGBT bloğunda PWM giriş doluluklarının değeridir.

5.4 Evirici Katı ve giriş çıkış sinyalleri

Öncelikle kartın çalışması üzerine incelemeler yapıldı. IRRAMX20UP60 IGBT entegresi dahili olarak sıcaklık ölçümü yaparak yüksek sıcaklıklarda koruma yapmaktadır. Bu nedenle özellikle sıcaklık uygulaması yapılmayacak projelerde 21.pinin direk olarak toprağa bağlanılmasına dikkat edilmelidir.



Şekil 5.6 Evirici Modül Yapısı veBağlantıları

Şekilde gösterilen kısım projemizde yer almamakla beraber en alt kısımda belirtilen sıcaklık koruma mosfeti de sistemde yoktur. Burada bu mosfet Active- Low olarak çalışarak denetleyici tarafından tetiklendiğinde 21.pini toprağa çekmektedir. Bu toprağa çekme işlemi yapılmaz ise entegre çalışmamaktadır. Dolayısıyla bu özelliği kullanmak istemeyen kişilerin pini direk olarak 23.pin ile kısa devre etmesi gerekmektedir. Projemizde de bağlantı aynen anlatıldığı gibi yapılmıştır. Bootstrap kondansatörleri evirici kartına en yakın şekilde konumlandırılmış olup değerleri 10mikrofarad'tır.Daha öncede belirtildiği gibibu değer datasheet'te tavsiye edilen değerdir.(2Khz tetikleme için)



Şekil 5.7 Evirici Modülü 23. ve 21. Pinlerin Kısa Devresi

Şekilde evirici kart gösterilmiştir. Dikkat edilmesi gereken husus 23 ile 21.pinin kısa devre olması gerektiğidir.

Çizelge 5.1 Aktif Çalışma İçin Gerekli Parametreler

T/I _{TRIP}	HIN1,2,3	LIN1,2,3	U,V,W
0	0	1	+
0	1	0	0
0	1	1	Off
1	X	X	Off

Çizelgede kartın aktif çalışma yapabilmesi için sağlanması gereken parametreler verilmiştir.

Kart test edilirken öncelikli olarak test kodları sağlandı. Bu kodlar ile motor sürme için gerekli sinyaller yakalanmıştır.

Bu kart Active- Low mantığı ile çalışmaktadır. Yani Lojik1 seviyesi 0V olup Lojik0 seviyesi minimum 3.3V'tur.Bu sebeple tasarımda elde edilen tetikleme tablosu burada ters uygulanacaktır.

Sistemimizde High bacakları Arduino'nun 3,4 ve 9. pinleri seçilmiştir. Low bacakları ise 6,7,8. dijital çıkışları olarak belirlenmiştir.

FAZLAR	HALL SENSÖRLERİ			YARI İLETKEN ANAHTARLAR						FAZLAR			SARGILAR		
	H3	H2	H1	Q1L	Q1H	Q2L	Q2H	Q3L	Q3H	P1	P2	P3	V ₁₋₂	V ₂₋₃	V ₃₋₁
I	1	0	1	0	1	1	0	0	0	+V _m	Gnd	NC	-V _m	-	-
II	0	0	1	0	1	0	0	1	0	+V _m	NC	Gnd	-	-	+V _m
III	0	1	1	0	0	0	1	1	0	NC	+V _m	Gnd	-	-V _m	-
IV	0	1	0	1	0	0	1	0	0	Gnd	+V _m	NC	+V _m	-	-
V	1	1	0	1	0	0	0	0	1	Gnd	NC	+V _m	-	-	-V _m
VI	1	0	0	0	0	1	0	0	1	NC	Gnd	+V _m	-	+V _m	-

Şekil 5.8 Hall sensörleri, Yarı İletken Anahtarların Sargıların Durumları

Şekilde hall sensörü girdisine göre bacak tetikle me sırası verilmiştir. Öncelikli olarak kartın çalışma testleri sensörlerden sırayla veri alınıyormuşçasına yapılmıştır. Nitekim kodda sensörden okunan değerler pasif konumdadır. Aşağıdaki resimde evirici kartına gönderilen tetiklemeler sonucu elde edilen sinyaller gösterilmektedir.

```
const byte HALL1=A4 , HALL2=A5 , HALL3=A3 ;
```

```
int DT=1000; //2Khz tetiklemede %50 doluluk
```

```
void setup() {
```

```
    pinMode(3,OUTPUT);//1H
```

```
    pinMode(4,OUTPUT);//2H
```

```
    pinMode(9,OUTPUT);//9H
```

```
    pinMode(6,OUTPUT);//1L
```

```
    pinMode(7,OUTPUT);//2L
```

```
    pinMode(8,OUTPUT);//9L
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
    //if(analogRead(HALL1)>) { //001
```

```
        digitalWrite(4,HIGH);
```

```
        digitalWrite(9,HIGH);
```

```
        digitalWrite(7,HIGH);
```

```

digitalWrite(8,LOW);

    digitalWrite(6,HIGH);

digitalWrite(3,LOW);

delayMicroseconds(i);

digitalWrite(3,HIGH);

delayMicroseconds(2000 - DT);

//}

//if(analogRead(HALL1>5) && analogRead(HALL2>5)) { //011

    digitalWrite(3,HIGH);

    digitalWrite(9,HIGH);

digitalWrite(6,HIGH);

digitalWrite(8,LOW);

digitalWrite(7,HIGH);

digitalWrite(4,LOW);

delayMicroseconds(i);

digitalWrite(4,HIGH);

    delayMicroseconds(2000 - DT);

//}

//if(analogRead(HALL2)>5) { //010

    digitalWrite(3,HIGH);

    digitalWrite(9,HIGH);

digitalWrite(6,LOW);

digitalWrite(8,HIGH);

digitalWrite(7,HIGH);

digitalWrite(4,LOW);

```

```

    delayMicroseconds(i);

    digitalWrite(4,HIGH);

    delayMicroseconds(2000 - DT);

//}

// if(analogRead(HALL2>5) && analogRead(HALL3>5)) { //110

//110

    digitalWrite(3,HIGH);

    digitalWrite(4,HIGH);

    digitalWrite(6,LOW);

    digitalWrite(7,HIGH);

    digitalWrite(9,LOW);

    digitalWrite(8,HIGH);

    delayMicroseconds(i);

    digitalWrite(9,HIGH);

    delayMicroseconds(2000 - DT);

//}

//if(analogRead(HALL3>5)) { //100

    digitalWrite(3,HIGH);

    digitalWrite(4,HIGH);

    digitalWrite(6,HIGH);

    digitalWrite(7,LOW);

    digitalWrite(8,HIGH);

    digitalWrite(9,LOW);

    delayMicroseconds(i);

    digitalWrite(9,HIGH);

```

```

delayMicroseconds(2000 - DT);

//}

//if(analogRead(HALL1>5) && analogRead(HALL3>5)) { //101

digitalWrite(4,HIGH);

digitalWrite(9,HIGH);

digitalWrite(7,LOW);

digitalWrite(8,HIGH);

digitalWrite(6,HIGH);

digitalWrite(3,LOW);

delayMicroseconds(i);

digitalWrite(3,HIGH);

delayMicroseconds(2000 - DT);

//}

}

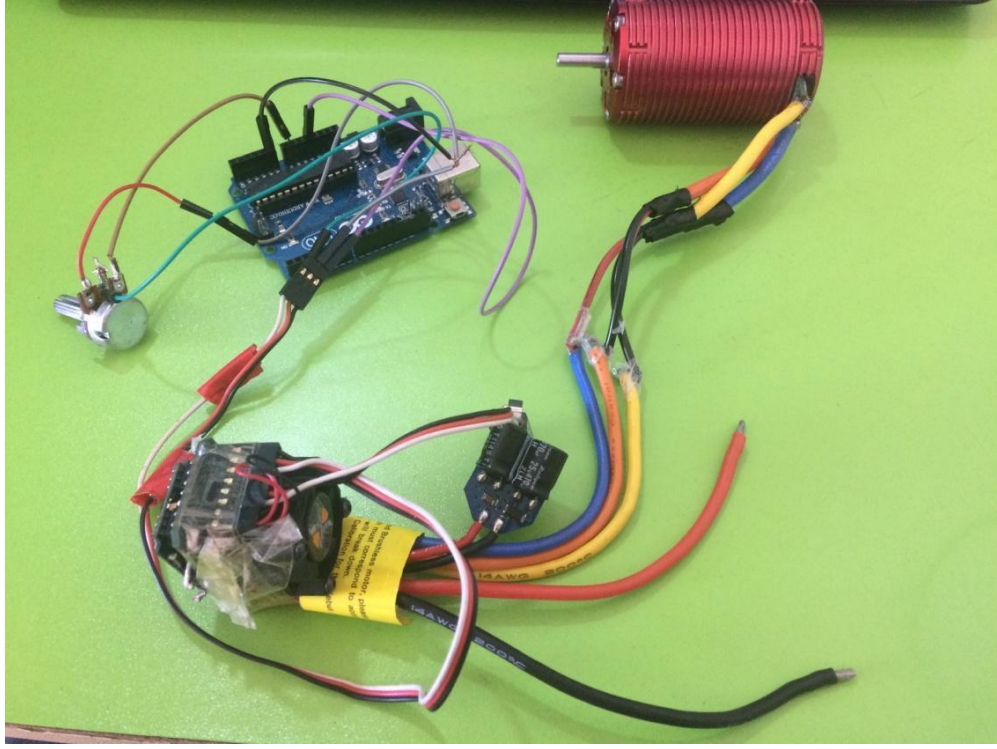
```

Kod bloğu sonucu evirici çıkışında 120 ° faz farklı sinyaller elde edilmiş olup motoru döndürmesi gereken sinyaller gösterilmiştir. Tetikleme sinyali 2Khz olarak ayarlanmıştır. Görüldüğü üzere aktif olan High bacağına PWM gönderilip Low bacağına lojik basılmıştır. Bu şekilde tetiklemeler elde edilir.1 igbt bloğu PWM,1 bloğu GND 1 bloğu ise boştaadır.

5.5 Motor Faz ve Hall Çıkışlarının Belirlenmesi

Elimizdeki motorun faz ve hall çıkışları bilinmemekteydi. Datasheet'ine ulaşılamayan motorun çıkışları bazı testlerle elde edilmiştir.

Öncelikle motor satın alınan kendi sürücüne bağlanarak çalıştırılmış hall besleme ve gnd si tespit edilmiştir. Geriye kalan 4 çıkışın 1' sıcaklık verisine ait olduğu saptanmıştır. Aşağıda motorun kendi sürücü ile yapılan çalışma gösterilmektedir.



Şekil 5.9 Motor ve Motor Sürücüsü Bağlantısı

Burada sürücü üzerinde Hall çıkışlarından gerilim ölçülerek beslemeler elde edilir. Daha sonra 2. Adıma geçilmiştir. Motor mili adım adım değiştirilerek hem osiloskoptan hem de arduinodan okunmuştur. Bu şekilde motor hangi fazda hangi sensörden geçtiği görülmüştür.

DT eldesi gösterilen yazılıma ek olarak bir önceki maddede verilen yazılımda pasif konumdaki if blokları aktif hale getirilerek eklenmesi yazılımın son hali verilmiş olur. Burada Hall girişleri Arduino'nun analog pinleri olan 3, 4 ve 5. pinlerine bağlanmıştır. Alınan hall verilerine göre gerekli if bloğu çalışacak ve itme-çekme mantığı aktif hale gelecektir.

5.6 Prototip Model Kartının Hazırlanması

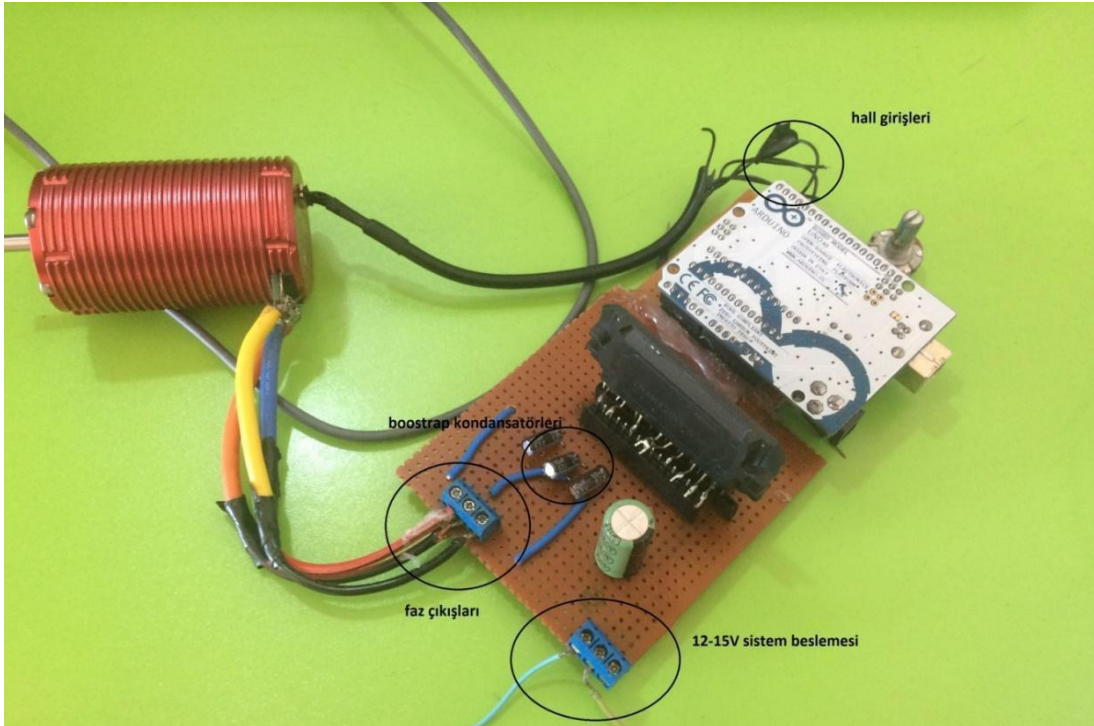
Öncelikle bazı noktalar belirtilmelidir. Kullanılan IGBT modülünün güç katı ile kontrol katı arası izoleli olduğu için haricen opto-kuplör kullanılmamıştır. Bu kullanım tercihe bağlıdır. Ancak opto-kuplör kullanımı her ne kadar PWM sinyallerini bozmasa da maliyeti bir miktar artırmaktadır. Bu sebeple kullanımından vazgeçilmiştir.

Aynı zamanda kartta kullanılacak malzemenin sayıca az olması nedeniyle baskı devre yerine delikli pertinaks kullanımı tercih edilmiştir. Buna rağmen aşağıda PCB çizimi eagle ortamında sağlanmış olup istenildiği takdirde kullanıma geçebilir.

Hazırlanan prototip model kartı belli bölümlerden oluşmaktadır. Burada denetleyici kartı siteye tak-çıkart şekilde tasarlanmıştır. Erkek-dişi pin kombinasyonu ile sağlanman bu durumda amaç kartta oluşabilecek arızada yenisinin değişiminikolaştırmaktır.

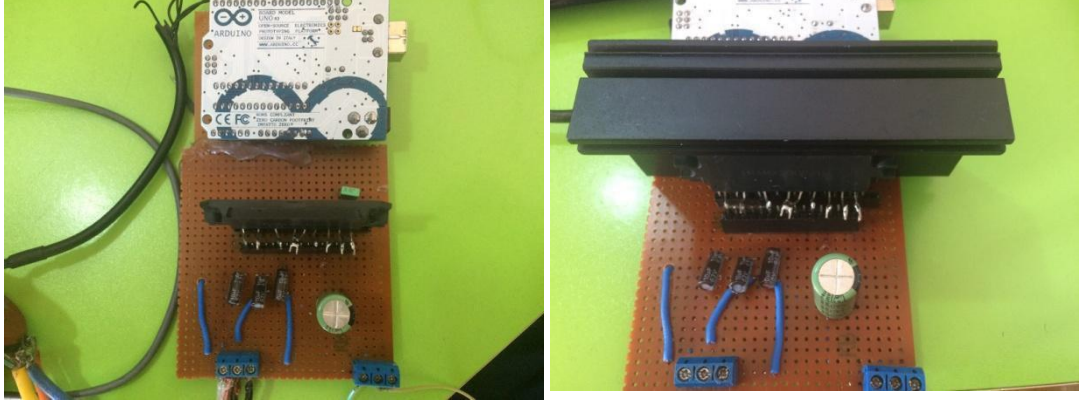
Kartta 5 çıkış vardır. Bunlarda 3'ü motor faz çıkışı olup 2 si besleme girişidir. Kartın beslemesi ile AC'ye çevrilen besleme ortaklanmıştır. Nitekim kullanılan motor 4s motordur. Yaklaşık olarak 12-15V arasında çalışabilmektedir. Bu aralık kartımızın da çalışma aralığıdır. Besleme girişine 1000mikrofaradlık kapasite atılarak düzeltme sağlanmıştır. Kart üzerinde kablo kesitleri güç ve kontrol tarafına göre değişim göstermektedir.

Karta son olarak Heat-sink bağlanarak IGBT entegresinin ısınmasına karşın önlem alınmıştır. Aşağıda kartın resimleri mevcuttur:



Şekil 5.10 Baskı Devre Kartının Bölümleri

Şekilde kartın bölümleri gösterilmiştir. Pot girişi, hall girişi, besleme girişi, bootstrap ve filtre kondansatörü, evirici modül, mikro denetleyici ve faz çıkışları mevcuttur.



Şekil 5.11 Kartın Üstten Görünüşü ve Heatsink Bağlı Hali

6. SONUÇLAR

6.1 Giriş

Sistem oluşturulduktan sonra testleri gerçekleştirilmiştir. Giriş olarak sağlanan potansiyometre değişimi evirici modüle PWM oranını değiştirmiş bu da hız değişimine yol açmıştır. Sabit PWM ile tetikleme gerçekleştiğinden hız değişimi sınırlıdır. Daha fazla değişim elde edilmek istenirse frekans değişimi de yapılmalıdır.

Bu bölümde simülasyon sonuçları olarak PI bloğunun sisteme etkisi, giriş değişimine göre çıkış değişimi verilecek, deney sonuçları olarak ise en baştan en sona sırasıyla referans hız eldesi, arduino çıkış sinyalleri, IGBT çıkış sinyalleri, motor çıkış sinyalleri verilecektir.

6.2 Simülasyon Sonuçları

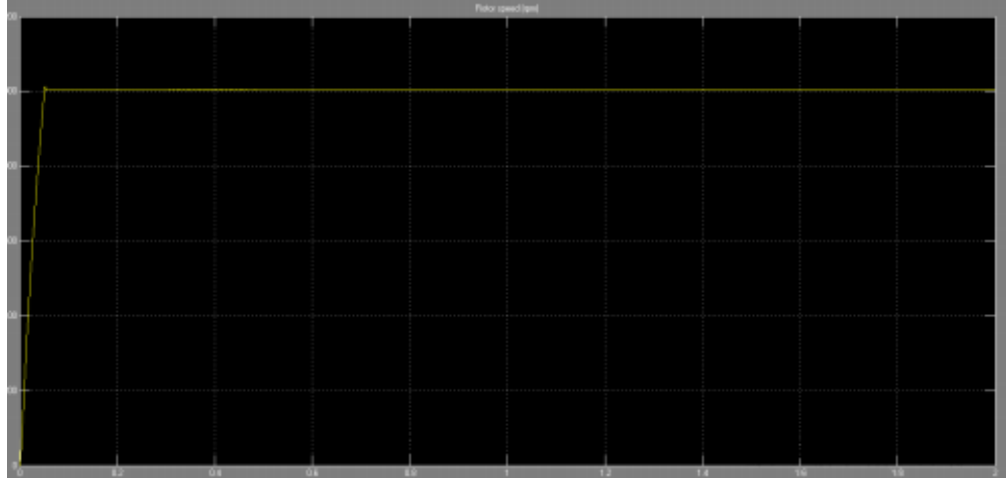
Fırçasız Doğru Akım Motoru'nun hız kontrol denetiminin simülasyonu Matlab/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Matlab/Simulink programını tercih edilmesinin sebebi dinamik ve gömülü sistemlerde önde gelen bir ortamsağlamasıdır.

Matlab/Simulink ortamında oluşturduğumuz modüle 350 W, 12 Vdc, 3000 devir / dakika olarak derecelendirilmiş üç fazlı motor altı kademeli bir voltaj dönüştürücü ile beslenir. DC voltajı kontrol etmek için bir PWM mantığı kullanılır. İnverterin üç fazlı çıkışı FDAM bloğunun stator sargılarına uygulanır. Yük momenti 0.3 sn de 0.3 Nm torkuna yükseltilir.

Fırçasız DC Motorun Motor Hız-Kontrol Denetim simülasyonunu yaparken bu modüle kullandığımız motor parametrelerini uyguladık. Parametre değerleri sisteme girildikten sonra en uygun PI değerleri $P=3$, $I=1$ olarak belirlenmiştir. Daha sonrasında bu modül üzerinde 4 farklı deney yapılmıştır. Bu deneylerde farklı referans hızlardaki kararlılıkları incelenmiştir.

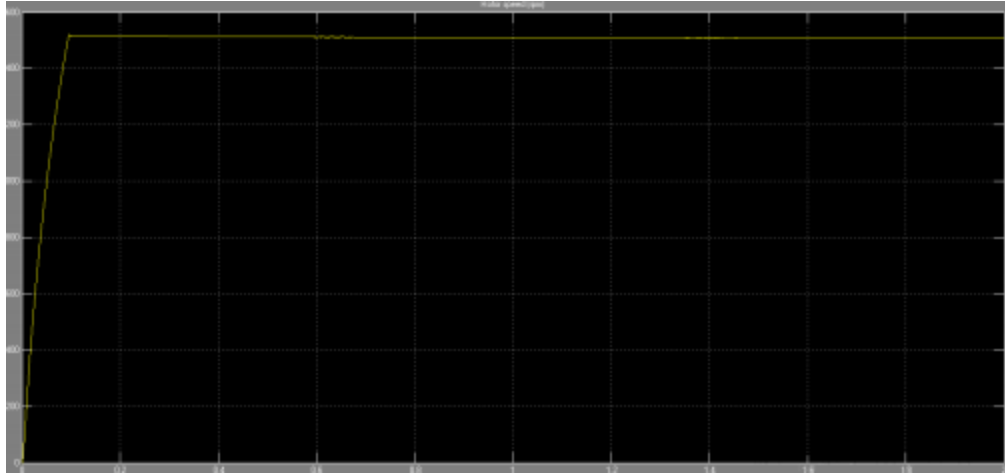
Bu çalışmada farklı hız değerleri girilerek sistemin verdiği tepkiler ölçülmüştür. Hız değiştiğinde, yük momentinin değişimi, çekilen akımın değişimi gibi parametreler gözlemlenerek yorumlanmıştır. Ancak uygulamamızdaki temel amaç sistemin değişken hıza vereceği tepkinin kararlılığıdır.

İlk deneyde, girilen PI değerleri $P=3$, $P=1$ ve referans hızının 1000 rpm seçilmesiyle 0.1 sn'den daha kısa bir sürede kararlılık sağlanmış ve istenilen aşma değeri elde edilmiştir. Çok kısa sürede kararlılık sağlaması ve sürekli durum hatasının sıfır olması amaçlandığı gibi sonuç vermiştir.



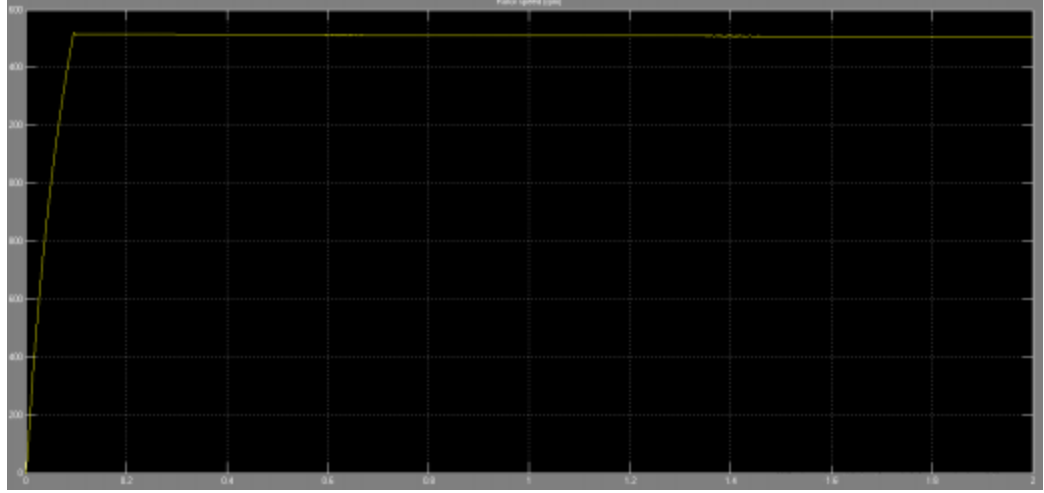
Şekil 6.1 Deney1 Sistem Kararlılık Grafiği

İkinci deneyde yine aynı parametre değerleri girilmiştir. Referans hızı 1500 rpm'ye çıkarılmıştır. 0.1 sn'de istenilen kararlılık sağlanmıştır.



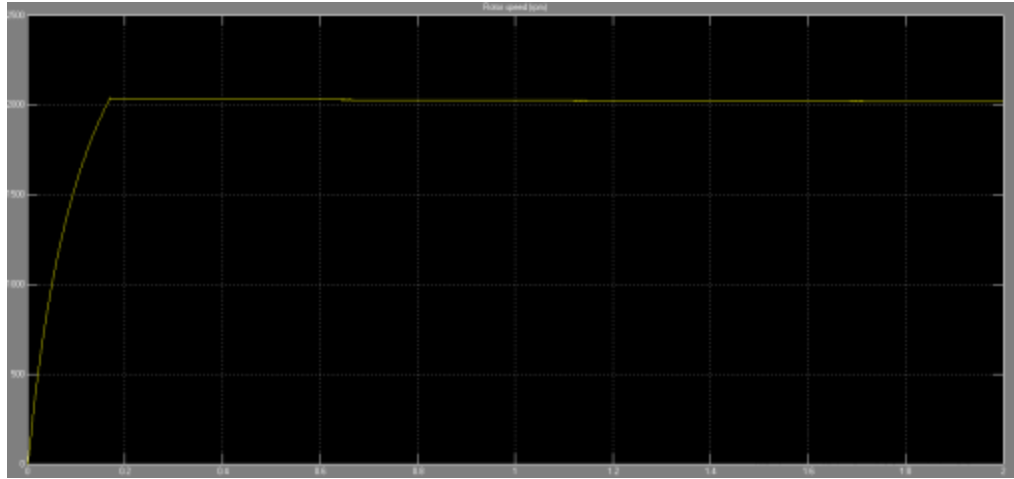
Şekil 6.2 Deney2 Sistem Kararlılık Grafiği

Üçüncü deneyde PI değerleri yine sabit tutulmuştur. Referans hız değeri 1750 rpm'ye çıkarılmıştır. Bu deneyde ise kararlılık 0.12 sn'de sağlanmıştır.



Şekil 6.3 Deney3 Sistem Kararlılık Grafiği

Son deneyde ise PI değerlerine dokunulmamış, referans hız değeri 2000 rpm'ye çıkarılmıştır. Bu giriş değerinde ise kararlılık 0.18 sn'de sağlanmıştır.



Şekil 6.4 Deney4 Sistem Kararlılık Grafiği

Bu deneylerin hepsinde de istenilen kararlılık ve aşma değeri sağlanmıştır.

Nitekim pratik uygulamada da sistem değişimlere karşı uyum sağlamış ve kararlılık göstermiştir.

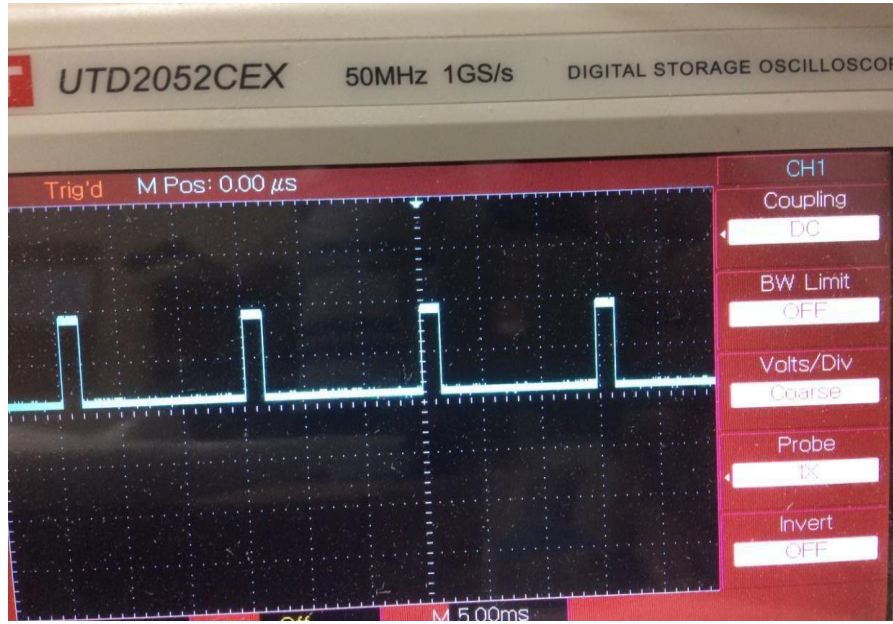
6.3 Deney Sonuçları

Bu kısımda öncelikle pot değerinden alınan veriler gösterilmiştir. Şekilde görülen sıcaklık değerine eşdeğer olan girişlerdir. 0-1024 arası dijital değerler olarak değişir.

```
1023
1023
1023
1023
952
877
803
736
754
632
642
558
539
595
458
394
427
407
310
271
818
265
187
98
56
```

Şekil 6.5 Sıcaklık Değerlerine Eşdeğer Olan Girişler

Sağlanan referans değeri gerçek hızla karşılaştırılarak PI bloğuna girer. Daha sonra çeşitli oranlarda duty cycle elde edilir. Aşağıda %10 oranında dolu bir PWM sinyali gözlemlenmiştir.



Şekil 6.6 Doluluk Oranı % 10 Olan PWM Sinyali

Bu sinyal eviricin High girişlerine uygulanacak olan sinyaldir. Her fazda bir High pinine PWM uygulanmaktadır. Aktarılan gücü bu teknik kontrol eder.

Doğru hiyerarşide sinyal uygulandığı zaman eviricinin faz-toprak çıkışından şu değerler elde edilmektedir.



Şekil 6.7 Eviricinin Faz-Nötr Çıkışları

Şekilde 120 °faz farklı sinyaller 16.8.V genliğinde elde edilmiştir. Bu durum giriş DC gerilimini direk olarak çıkışta aynı genlikte elde ettiğimizi göstermektedir.

Sisteme motor bağlandığında ise aşağıdaki sinyal elde değişmektedir.



Şekil 6.8 Motor Bağlantısında Elde Edilen Trapezoidal Sinyal

Görüldüğü üzere BLDC motorda elde edilmesi gereken trapezoidal sinyaller motor dönerken elde edilmiştir.

Son olarak aşağıda motor milinin tam bir tur döndüğünde hall sensörlerinden elde edilensinyallerin eldesi gösterilmiştir.

COM9 (Arduino Uno)		
hall1: 1	hall12: 0	hall13: 0
hall1: 1	hall12: 0	hall13: 1
hall1: 0	hall12: 0	hall13: 1
hall1: 0	hall12: 1	hall13: 1
hall1: 0	hall12: 1	hall13: 0
hall1: 1	hall12: 1	hall13: 0

Şekil 6.9 Motorun Tam Tur Dönmesiyle Hall Sensörlerden Elde Edilen Lojik Bilgi

Yazılımsal olarak hall çıkışları elde edilmiştir. Motorun hall entegrasyonu için 6 girişi vardır. Bunlardan 1.si besleme +5V, 2,3 ve 4. pinleri hall çıkışları, 5.pini sıcaklık ve son pini topraktır. Yukarıdaki değerler 2,3. ve 4. pinin Arduino'ya giriş sağlaması ile elde edilmiştir.

Bu yollar adım adım izlenerek tüm sistem entegre edilmiş ve çalıştığı kanıtlanmıştır. Daha sonra sistemin giriş değerleri değiştirilerek ölçümler yapılmıştır. Deneyde bazı koşullar söz konusudur. Bunlar şunlardır:

- Giriş gücü 12V olupsabittir.
- Motor yüksüzdür.
- Okunan hız yazılımsal olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.1 Çalışma Noktası, Çekilen Akım, Giriş Gücü, Hız

Çalışma noktası(Duty Cycle)	Çekilen akım(A9)	Giriş gücü(W)	Hız(rpm)
%35	2.5	30	1000rpm
%40	3.1	37.2	1457rpm
%50	3.7	44.4	1780rpm

Bu çizelgede bakılarak şu yorumlar yapılabilir. Giriş gücü için hesaplanan güçler ile buradaki hesaplar arasında oldukça büyük farklar vardır. Bunun sebebi, bu deneyde temel amacın hız kontrolü sağlanmasıdır. Görüldüğü üzere pot'un değişimi ile hız değişimi sağlanmıştır. Başta yapılan giriş gücü hesabı, otomobilin hareket halinde fanda oluşabilecek hava akışı ve basıncının oluşturacağı mekaniksel ihtiyacın limitleridir.

Projenin uygulama kısmında en optimal değerler seçilebilmesi için çeşitli ürünler satın alınmıştır. O ysa proje ortaya çıktıktan sonra alınacak malzemeler belli olacağı için ve araç-gereçler bir seferliğine alınacağı için seri üretim maliyeti gayet düşebilmektedir.

7. DEĞERLENDİRMELER

Tasarımı yapılan bu proje ile takım çalışmasının disiplini ve sorumluluk bilinci edinilmiştir. Ders kapsamında öğrendiğimiz birçok bilgiyi bitime projesi bünyesinde kullanılmıştır.

Bu proje ile araç soğutma sisteminde bulunan radyatör fanını çalıştırmak için kullanılan fırçasız doğru akım motoruna motor sürücüsü tasarlanmıştır. Kullanılan sistem bileşenleri ile oluşturulan simülasyonlar sonucunda fırçasız doğru akım motoru için ortam sıcaklık değerini baz alarak en verimli halde tasarım yapılmıştır. Projenin içeriğinde olan fırçasız doğru akım motoru, motor sürücü, mikrodenetleyiciler, fan sistemi kapsamlı bir şekilde araştırılmış ve birçok bilgi edinilmiştir. Mikrodenetleyici olarak seçtiğimiz Arduino hakkında ayrıntılı bir çalışma yapılmıştır. Sistemimizin en önemli parçası olan fırçasız doğru akım motorunun çalışma ilkesi ve yapısı incelenerek motorun kullandığımız sistem bileşenleri ile en verimli çalışma aralığı simülasyonlar sonucu bulunmuştur.

Daha sonra tüm bu teorik bilgi pratiğe dönüştürülerek teori ile pratik arasındaki fark gözlemlenmiştir. Burada önemli olan kavram şudur, hesabı yapılan değerlerin pratikte yani donanımdaki karşılığının ne olduğunun bilinci çok önemlidir. Nitekim hesaplanan bir çok değer yazılımsal olarak gerçekleştirilmiştir.

İhtiyaç duyulan güç maksimum limitler için mekaniksel olarak hesaplanmıştır ve elektriksel olarak gerçekleştirildiğinde bu güç ile kıyası yapılmıştır. İhtiyaç duyulan gücün çok altında bir çalışma gözlemlenmiştir. Eğer sistem belirtilen hava şartlarında test edilebilseydi ihtiyaç duyulan maksimum değerlere çıkılabilirdi.

Ek olarak bu projeye sonradan bir çok özellik sağlanabilir. Örneğin sisteme sıcaklık uyarısı, aşırı akım uyarısı, gösterge ekranı gibi eklemeler yapılarak sürücü sistemi farklı uygulamalar için de kullanılabilir.

Sonuç olarak tasarlanan bu proje ile araç soğutma sisteminin verimli çalışması sonucunda sağlıklı bir şekilde motorun soğutması amaçlanmıştır. Artan refah seviyesi ve gelişen teknolojiye ayak uydurmak için bu proje seri üretim aşamasına gelebilir. Bu proje geliştirilerek uluslararası platformda yer almamıza olanak sağlayabilir.

8. KAYNAKLAR

- [1] H. Kahveci, “Doğrudan Sürüşlü Elektrikli Araçlar İçin Bulanık Mantık Tabanlı Elektronik Diferansiyel Sisteminin Gerçeklenmesi”, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2013
- [2] C. C. Lee, G. J. Chiou, J. Y. Chen, Y. C. Tung, S. H. Lu, F. S. Juang, S. Y. Chen, “Energy-Efficient and Torque Enhanced Brushless DC Motor Controllers”, [Next-Generation Electronics \(ISNE\) 2016 5th International Symposium on](#), Mayıs 2016, 2378-8607
- [3] H. S. Chuang, Y. L. Ke, Y. C. Chuang, “Analysis Of Commutation Torque Ripple Using Different PWM Modes In BLDC Motors”, [Industrial & Commercial Power Systems Technical Conference - Conference Record 2009 IEEE](#), May 2009, 2158-4907
- [4] H. Liu, H. Zhang, “Dual-Mode Operation Of In-Wheel Brushless DC Motor Driver For Micro All-Electric Vehicle”, [2015 IEEE 2nd International Future Energy Electronics Conference \(IFEEEC\)](#), Nov. 2015, 978-1-4799-7657-7
- [5] M. Akhila, P. Ratnan, “Brushless DC Motor Drive With Regenerative Braking Using Adaptive Neuro Based Fuzzy Inference System”, [2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques \(ICEEOT\)](#), March 2016, 978-1-4673-9939-5
- [6] J. S. Rao, G. R. Kumar, O. C. Sekhar, “Sensorless Speed Control Of Brushless DC Motor Using Fuzzy Controller”, [Electrical, Electronics, and Optimization Techniques \(ICEEOT\), International Conference on](#), March 2016, 978-1-4673-9939-5
- [7] L. Mingji, G. Hanjin, S. Meihong, “Ripple Torque Analysis And Simulation Of BLDC Motor With Different PWM Modes”, [Power Electronics and Motion Control Conference \(IPEMC\), 2012 7th International](#), June 2012, 978-1-4577-2088-8
- [8] X. Yao, X. Jiang, Y. Zhang, G. Yang, Y. Chang, “A Novel Method Based On Delaying Hall Signal For Reducing Torque Ripple Of Brushless DC Motor”, [Industrial Electronics Society, IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE](#), Oct. 2016, 978-1-5090-3474-1
- [9] A. Kurdoğlu, “Brushless DC Motor Speed Control Circuit Design”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2007

- [10]S. Kahveci, “Fırçasız Doğru Akım Motorunun Programlanabilir Lojik Kontrolörle Denetimi”, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 1998
- [11]Ö. Aydoğdu, M. Bayer, “PIC Tabanlı Fırçasız DC Motor Sürücüsü Tasarımı”, Tez, Selçuk Üniversitesi, 2008
- [12]H. C. Bayraktar, “Fırçasız Doğru Akım Motorlarının Kontrolü”, Seminer Tezi, İstanbul Üniversitesi, 2014
- [13] E. Beşer, B. Arifoğlu, S. Çamur, E. Kandemir Beşer, “3 Fazlı Çok Seviyeli Evirici Tasarımı ve Uygulaması” ,Tasarım Çalışması, Elektrik Mühendisliği Bölümü Kocaeli Üniversitesi
- [14] Otomotiv Distribütörleri Derneği , “ Türkiye Otomotiv Pazarı” (http://www.odd.org.tr/web_2837_1/neuralnetwork.aspx), 11.2016
- [15] Türkiye İstatistik Kurumu, (http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1051), 11. 2016
- [16]Texas Instruments, (www.ti.com/lscs/ti/applications/industrial/motor-drives/overview), 11.2016
- [17] O. Karabulak, O. Yaz ve diğerleri, “PIC Tabanlı Fırçasız DC Motor Sürücü Tasarımı”, 3.Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, 29-30 Kasım 2012, Balıkesir.
- [18] H. C. Bayraktar, “Fırçasız Doğru Akım Motorlarının Kontrolü”, Seminer Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi, 2014
- [19] Ö. Aydoğdu, “Fırçasız Doğru Akım Motorlarının Genetik Tabanlı Bulanık Denetleyici İle Sensörsüz Kontrolü”, Selçuk Üniversitesi, 2006
- [20] Padmaraja Yedamale, Microchip Technology Incorporated, “Brushless DC motor fundamentals”, 2003
- [21] Elektrik Port , ([http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/pwm-\(sinyal-genislik-modulasyonu\)-teknigi-nedir](http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/pwm-(sinyal-genislik-modulasyonu)-teknigi-nedir)), 11.2016
- [22] H. Bodur, “Güç Elektroniği”, Birsen, 2010
- [23] Ö. Atan “Fırçasız DA motorunun Modellenmesi ve PWM Yöntemiyle Kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, 2007

- [24] Elektrik Port, (<http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/optokuplor-nedir/12346>), 10.2016
- [25] J.Larminie & J Lowry,” Elektrikli Araç Teknolojisi”,2013,Elektrik Mühendisleri Odası Yayınları;Ankara,2013
- [26] M. H. Rashid,”Power Electronics Devices,Circuits,and Application”,Nobel Akademik Yayımcılık,2014
- [27] F. Erdiñç,” Yeni Başlayanlar İçin Arduino Programlamanın Temelleri”,Pusul Yayımcılık,2015
- [28] D. Çamoğlu,”İleri Seviye Arduino” ,Dikey Eksen Yayın Dağıtım,Yazılım ve Eğitim Hizmetleri San. Ve Tic. Ltd. Şti,2014
- [29] EvanBoldt,”Pulse Width Modulation with analogWrite” ,<http://robotic-controls.com/learn/arduino/pulse-width-modulation-analogwrite>,01.04.2013
- [30] “IRAMX20UP60A application notes”, İnternational I&R Rectifier, www.irf.com
- [31] P. Wood, M. Battello, N. Keskar, A. Guerra, “Application Note AN-1044”
- [32] Prof. Dr. C. Kubat, “Matlab Yapay Zeka ve Mühendislik Uygulamaları”,Abaküs Kitap Yayın Dağıtım Hizmetleri,2015
- [33] V. Kanat,”Mühendisler İçin Arduino”, Dikey Eksen Yayın Dağıtım, Yazılım ve Eğitim Hizmetleri San. Ve Tic. Ltd. Şti,2014
- [34] H.Kahveci,”Özel elektrik Makinaları Ders Notları”,2016

EKLER

BARIŞ AKKAYA

BARKA TEKNOLOJİ GELİŞTİRME

Üniversite Mahallesi Hastane Caddesi 33/2103 Ortahisar
Gsm : (0537) 798 68 25 TRABZON

Karadeniz V. D. : 246 820 811 02
Ticaret Sicil No. : 18673

SEVK İRSALİYESİNİN

TARİHİ:

NO.SU :



FATURA

Seri A No : 43263

Tarih 03.06.2017

İL KODU:61

Sayın , M. Seyla ÇİMEZLER Bayındır Cad. Akad. Sk.
Aydınlı apt. 1a/2 kentelek mah. Ortahisar / TRABZON
Müş. V.D.: 14.162652384 He.No. :

C İ N S İ	Miktarı	Fiatı	Tutarı
Düğüne akın malzeme (45, 120m)	1	974,51kr	974,51kr
Enkasa 7. DANIŞMAN (45, 150m)	1	720,31kr	720,31kr
Ardına geliştirme kiti	3	127,21kr	381,36kr
Entegre (1R2110, 1R2153)	4	53,1kr	212,4kr
masfet (ERFOSU)	10	4,24	42,38kr
Multimetre	1	211,861kr	211,861kr
evirici entegre (P8AMX200P6)	1	211,87kr	211,87kr
BARIŞ AKKAYA BARKA TEKNOLOJİ GELİŞTİRME Üniversite Mah. Hastane Cd. 33/2103 Tic. Sicil No: 18673 Ortahisar / TRABZON Karadeniz V.D. 246 820 811 02 GSM: (0537) 798 68 25			
Basım Yeri: ERHAN OFSET MATBAACILIK Erhan Tuğtekin ve Ortağı Uzun Sok. No: 70/C Tel: (0.462) 322 24 23 - 322 35 06 Fax: 326 20 20 TRABZON Hızırbey V.D. : 861 000 1829 Anlaşma Tarihi: 17.2.2006 - 23 Basım Yılı: 2015		Yekün	# 2754,27kr #
		KDV % 18	# 455,76kr #
		G.Yekün	# 3250,03kr #

Yalnız #üçbinikiyüzelli kr#

BARIŞ AKKAYA

BARKA TEKNOLOJİ GELİŞTİRME

Üniversite Mahallesi Hastane Caddesi 33/2103
Gsm : (0537) 798 68 25

Ortahisar
TRABZON

Karadeniz V. D : 246 820 811 02

Ticaret Sicil No. : 18673

SEVK İRSALİYESİNİN

TARİHİ:

NO.SU :



İL KODU:61

FATURA

Seri A No : 43262

Tarih 03.06.2017

Sayın M. Seyda CEMERTLER Karatlı Mh. Bayındır
Cd. Ayvalı Sk. Ayvalı Apt. 10/2 Ortahisar / TRABZON
Müş. V.D.: 14162652984 Hs.No. :

C İ N S İ	Miktarı	Fiatı	Tutarı
Elektronik komponentler (kapaklar, kapasite seti, endüksiyon seti, diyor, klemens, gaz lambası 2m, Sagunlar kablo, perçinler, Lm25 sendir.)	1	637 lirası	637 lirası
BARIŞ AKKAYA BARKA TEKNOLOJİ GELİŞTİRME Üniversite Mh. Hastane Cd. 33/2103 Tic. Sicil: 18673 Ortahisar / TRABZON Karadeniz V.D. : 246 820 811 02 GSM: (0537) 798 68 25			

Basım Yeri: ERHAN OFSET MATBAACILIK Erhan Tuğtekin ve Ortağı
Uzun Sok. No: 70/C Tel: (0.462) 322 24 23 - 322 35 06 Fax: 326 20 20 TRABZON
Hızırbey V.D. : 861 000 1829 Anlaşma Tarihi: 17.2.2006 - 23 Basım Yılı: 2015

Yekün
KDV %18
G.Yekün

637 lirası
114,66 lirası
751,66 lirası

Yalnız : #yediyozellizlunatmisaltikun#



IEEE Code of



We, the members of the IEEE, in recognition of the importance of our technologies in affecting the quality of life throughout the world, and in accepting a personal obligation to our profession, its members and the communities we serve, do hereby commit ourselves to the highest ethical and professional conduct and agree:

to accept responsibility in making engineering decisions consistent with the safety, health and welfare of the public, and to disclose promptly factors that might endanger the public or the environment;

to avoid real or perceived conflicts of interest whenever possible, and to disclose them to affected parties when they do exist;

to be honest and realistic in stating claims or estimates based on available data;

to reject bribery in all its forms;

to improve the understanding of technology, its appropriate application, and potential consequences;

to maintain and improve our technical competence and to undertake technological tasks for others only if qualified by training or experience, or after full disclosure of pertinent limitations;

to seek, accept, and offer honest criticism of technical work, to acknowledge and correct errors, and to credit properly the contributions of others;

to treat fairly all persons regardless of such factors as race, religion, gender, disability, age, or national origin;

to avoid injuring others, their property, reputation, or employment by false or malicious action;

to assist colleagues and co-workers in their professional development and to support them in following this code of ethics.



IEEE Etik Kuralları



Approved by the IEEE Board of Directors

August 1990

IEEE üyeleri olarak bizler bütün dünya üzerinde teknolojilerimizin hayat standartlarını etkilemesindeki önemin farkındayız. Mesleğimize karşı şahsi sorumluluğumuzu kabul ederek, hizmet ettiğimiz toplumlara ve üyelerine en yüksek etik ve mesleki davranışta bulunmayı söz verdiğimizizi ve aşağıdaki etik kuralları kabul ettiğimizi ifade ederiz.

Kamu güvenliği, sağlığı ve refahı ile uyumlu kararlar vermenin sorumluluğunu kabul etmek vekamu veya çevreyi tehdit edebilecek faktörleri derhal açıklamak;

Mümkün olabilecek çıkar çatışması, ister gerçekten var olması isterse sadece algı olması, durumlarından kaçınmak. Çıkar çatışması olması durumunda, etkilenen taraflara durumu bildirmek;

Mevcut verilere dayalı tahminlerde ve fikir beyan etmelerde gerçekçi ve dürüst olmak;

Her türlü rüşveti reddetmek;

Mütenasip uygulamalarını ve muhtemel sonuçlarını gözeterek teknoloji anlayışını geliştirmek;

Teknik yeterliliklerimizi sürdürmek ve geliştirmek, yeterli eğitim veya tecrübe olması veya işin zorluk sınırları ifade edilmesi durumunda ancak başkaları için teknolojik sorumlulukları üstlenmek;

Teknik bir çalışma hakkında yansız bir eleştiri için uğraşmak, eleştiriyi kabul etmek ve eleştiriyi yapmak; hatları kabul etmek ve düzeltmek; diğer katkı sunanların emeklerini ifade etmek;

Bütün kişilere adilane davranmak; ırk, din, cinsiyet, yaş, milliyet, cinsi tercih, cinsiyet kimliği, veya cinsiyet ifadesi üzerinden ayrımcılık yapma durumuna girişmemek;

Yanlış veya kötü amaçlı eylemler sonucu kimsenin yaralanması, mülklerinin zarar görmesi, itibarlarının veya istihdamlarının zedelenmesi durumlarının oluşmasından kaçınmak;

Meslektaşlara ve yardımcı personele mesleki gelişimlerinde yardımcı olmak ve onları desteklemek.

IEEE Yönetim Kurulu tarafından Ağustos 1990'da onaylanmıştır.

Tasarım Projesinin hazırlanmasında Standart ve Kısıtlarla ilgili olarak, aşağıdaki soruları cevaplayınız.

Projenizin tasarım boyutu nedir? Açıklayınız.

Bu projede kullanılan yöntemler yaygın olarak kullanılır. Ancak yerli olarak az sayıda benzeri olduğu için yeni bir projedir. Mikrodenetleyici, motor sürücü bloğu, PI denetleyici gibi sistem bileşenlerinin seçimi bu projeyi yeni bir proje haline getirir.

Projenizde bir mühendislik problemini kendiniz formüle edip, çözdünüz mü?

Bir çok formülden yararlanarak yeni bir probleme çözüm kavuşturduk

Önceki derslerde edindiğiniz hangi bilgi ve becerileri kullandınız?

Özellikle elektrik makinaları, mikrodenetleyiciler, güç elektroniği ve kontrol sistemleri derslerinde edinilen bilgiler tasarımda büyük rol oynamışlardır.

Kullandığınız veya dikkate aldığınız mühendislik standartları nelerdir?

IEC

NEMA

J631_201311

J164_201207

Kullandığınız veya dikkate aldığınız gerçekçi kısıtlar nelerdir? Lütfen boşlukları uygun yanıtlarla doldurunuz.

a) Ekonomi

Projede seçmiş olduğumuz malzemeler ekonomik açıdan makul fiyatlardadır. Seçim yaparken bu husus dikkate alınmıştır.

b) Çevre sorunları:

Bu proje çevre için herhangi bir sorun içermemektedir.

c) Sürdürülebilirlik:

Günümüzde otomobil satışlarının artışı ve artan refah seviyesi nedeniyle araçların konforu ve verimliliği ön plandadır. Bu projenin olumlu yanlarından biri verimlilikidir. Proje seri üretim aşamasında araç aksamında yer alabilir. Ayrıca proje geliştirildiğinde uluslararası alanda yer almamızda katkı sağlayabilir.

d) Üretilebilirlik:

Proje yeni nesil araçlarda kesin çözüm sunduğu için ve teknolojik açıdan üretilebilirlik derecesi yüksektir.

e) Etik:

Projede etik kurallarına aykırı bir durum yoktur.

f) Sağlık Projede sağlık açısından tehdit oluşturacak bir durum söz konusu değildir.

g) Güvenlik:

Projede güvenlik açısından tehdit edici bir durum yoktur.

h) Sosyal ve politik sorunlar:

Proje herhangi bir sosyal ve politik sorun barındırmamaktadır.

Projenin Adı	YENİ NESİL RADYATÖRLERDE SOĞUTMA FANLARI İÇİN FDAM MOTOR SÜRÜCÜ
Projedeki Öğrencilerin adları	Muhammed Seyda CÖMERTLER Bahar ÖZMEN Nebi KARATAŞ Mert TEKNECİ

ÖZGEÇMİŞLER

Bahar Özmen

Bahar ÖZMEN 1994’ te Gölcük’te doğdu. İlköğretimi Gölcük’ te Uğur Mumcu İlköğretim Okulu’nda okudu. Lise öğrenimini Trabzon Anadolu Lise’ sinde tamamladı. 2013 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nde lisans programına başladı. Yabancı dil olarak orta seviye İngilizce bilmekte. Yaz dönemlerinde Türk Telekom Network Yönetimi Sistemleri Bölümü’nde Cisco programı kullanmaya yönelik, Ekim Mühendislik’ te alçak gerilim projeleri üzerine staj yaptı. Cisco, MATLAB, Arduino, LabVIEW, Proteus, Simulink, PLC, orta seviyede AutoCAD kullanabildiği programlardır. 2014 yılında ODTÜ’ nün düzenlemiş olduğu robot yarışmasına katılmıştır.

Bahar Özmen

baharlozmen@gmail.com

Muhammed Seyda Cömertler

1994 Ankara doğumludur. Talia-Yaşar İlköğretim Okulu, Kalaba Anadolu Lisesi mezunudur. 2013 Karadeniz Teknik Üniversitesini Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nde lisans programına başladı. Ayrıca 2.üniversite olarak Anadolu Üniversitesi İşletme bölümü 4.sınıf öğrencisidir.

Staj deneyimleri: Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş \ AR-GE departmanı(2015), Anadolu Isuzu AR-GE departmanı(2016)

Akademik Başarılar:K TÜ Yabancı Dil Yüksekokulu sınıflar arası İngilizce genel kültür yarışması 1.ligi,, Shell-Eco maraton İstanbul 2015 Elektrikli araçlar yarışmasında

Türkiye 1.ligi Tubitak Alternatif Enerji Yarışları(2016) elektrikli araç kategorisinde 8.ligi,Uluslararası Tubitak İnsansız Hava Araçları Yarışmasına katılma başarıları gösterdi.

Orta düzeyde İngilizce bilgisi, temel düzeyde Almanca bilgisine sahiptir. Elektrikli araçlar ve savunma sanayi sektörlerinde çalışmalarını sürdürmektedir. Elektrik makinaları ve güç elektroniği alanında çalışmaktadır. Çalışma yaptığı başlıca platformlar, Matlab, LabView, Proteus, Friziting, PLC ve Arduino'dur.

Muhammed Seyda Cömertler

muhammedcomertler@gmail.com

Mert TEKNECİ

2 Eylül 1994 yılında Ordu'da doğdu. İlköğretimi Mehmet Akif Ersoy İlköğretim Okulu'nda, liseyi ise Ordu Anadolu Lisesi'nde tamamladı. İlk ve orta öğretim hayatı boyunca izcilikle ilgilendi. 2012 senesinde girdiği YGS LYS sınavları sonucunda KTÜ Elektrik Elektronik Mühendisliği'ne yerleşti. Bu üniversitede bir sene yabancı dil eğitimi aldıktan sonra, 4. yarıyıl sonunda Elektrik-Kontrol Bölümünü tercih etti. Şuan da o bölümün 4. senesini okumaktadır. 2015 senesinde ilk zorunlu stajında Ordu Halk Sağlığı Müdürlüğü Yapı İşleri Birimi'nde, 2016 senesinde ikinci zorunlu stajını ise Ordu Elsis Mühendislik'te gerçekleştirdi.

2016 Nisan'da, Denizli'de yapılan Avrupa Birliği Gençlik Forumu'na katıldı. Bu forumdan sonra 2016 Eylül'de Costinesti/Romanya'da yapılan AB Erasmus+ projesi olan "Crossing the Bosphorus" isimli Türkiye Romanya arasındaki kültürel etkileşim projesine katıldı. Yine bir AB projesi olan ve Çağdaş Yaşamı Destekleme Derneği'nin Erasmus+ şubesinin aracılığıyla olduğu Hollanda'da yapılacak olan Avrupa Gönüllü Hizmeti'ne (European Voluntary Service) başvurdu. Bu projeye kabul edilirse; 1 Eylül 2017'den 1 Eylül 2018'e kadar Hollanda'da Rock Solid Foundation vakfında gönüllülük esası ile çalışacaktır.

Bunların dışında amatör olarak Oyun Fabrikası Atölyesi'nde tiyatro ile ilgilenmektedir. Ayrıca Rusumat 4 Gençlik ve Spor Kulübü'nde doğa sporları ile uğraşmaktadır.

Mert TEKNECİ

mvmert@gmail.com

Nebi Karataş

1994 yılında Üsküdar'da doğdu. İlkokulu Beylikbağı İlköğretim okulunda okudu.2012 yılında Gebze Anibal Anadolu Lisesinden mezun olduktan sonra yine aynı yıl içerisinde öğrenim hayatına KTÜ Elektrik- Elektronik Mühendisliğinde devam etti.2015 yılında Gebze Belediyesi Yapı Denetim ve Kontrol Departmanı'nda staj yaptı.2016 yılında Sahra Kablo firması bünyesinde bulunan Kalite Kontrol Departmanında stajını tamamladı. Orta seviye ingilizce bilmektedir. Bildiği programlar arasında Matlab, Labview ve Proteus programları vardır. Girişimcilik alanında da Young Guru Academy(YGA) bünyesi altında çalışmalarda bulunmuştur.

NebiKARATAŞ

nebikaratas.nk@gmail.com