

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANDROİD UYGULAMA İLE DOĞRU AKIM (DA) MOTORUN
HIZ KONTROLÜNÜN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: İdris KESKİN
DANIŞMAN : Prof. Dr. Naci GENÇ

VAN-2019

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANDROİD UYGULAMA İLE DOĞRU AKIM (DA) MOTORUN
HIZ KONTROLÜNÜN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: İdris KESKİN

VAN-2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Prof. Dr. Naci GENÇ danışmanlığında, İdris KESKİN tarafından sunulan “**Android Uygulama ile Doğru Akım (DA) Motorun Hız Kontrolünün Gerçekleştirilmesi**” isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 08/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Naci GENÇ

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ali MAMİZADEH

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Behçet KOCAMAN

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 08/08/2019 tarih ve 2019/43-T sayılı kararı ile onaylanmıştır.



TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

İdris KESKİN

ÖZET

ANDROİD UYGULAMA İLE DOĞRU AKIM (DA) MOTORUN HIZ KONTROLÜNÜN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

KESKİN, İdris

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Naci GENÇ

Ağustos 2019, 77 sayfa

Son yıllarda iletişim teknolojisinin gelişmesiyle birlikte makinelerin uzaktan kontrolü üzerine yapılan çalışmalarda önemli bir artış olmuştur. Bu gelişmeler ışığında gerek ev uygulamalarında gerekse sanayide elektrik makinelerinin uzaktan ve kablosuz kontrolü önemli bir çalışma konusu haline gelmiştir. Akıllı ev uygulamalarının yanı sıra endüstride kullanılan birçok otomasyon sisteminde elektrik makineleri kullanılmaktadır. Elektrik makinelerinin düşük maliyetler ile yüksek verimlilikte hassas bir şekilde kontrol edilebilmeleri arzu edilen bir durumdur. Bu bağlamda yüksek verimlilik, hassas kontrol, hızlı tepki verme, ekonomik maliyet ve uzaktan kontrol parametrelerine sahip olmasından dolayı doğru akım (DA) motoru birçok uygulamada tercih edilen elektrik makinesidir.

Android ve İOS gibi işletim sistemine sahip ve kullanımı yaygınlaşan telefon/tablet gibi birçok cihaz sahip oldukları bluetooth, WiFi veya GPRS özelliklerinden dolayı elektrik makinelerinin uzaktan kablosuz kontrolü için kullanılabilir. Bu bağlamda DA motorunun Android işletim sistemine sahip bir cihaz ile uzaktan hız kontrolü ve hız izlemesi bu tez çalışmasının temel konusunu teşkil etmektedir.

Bu tez çalışmasında DA motorunun Android işletim sistemine sahip bir cihaz ile uzaktan hız kontrolünün yansırı geliştirilen arayüz yazılımı ile motor hızının izlenmesi ve görüntülenmesi sağlanmıştır. Ayrıca DA motorun matematiksel modellenmesi yapılarak transfer fonksiyonu elde edilmiştir. DA motorun hız kontrolünde PI (Oransal-İntegral) kontrol yöntemi kullanılmıştır. Modellemesi yapılan DA motorun hız kontrolünün benzetim çalışmaları tamamlandıktan sonra, deneysel çalışmaları yapılarak sonuçlar aktarılmıştır.

Anahtar kelimeler: Doğru akım (DA) motoru, H-Köprü, PI kontrol.

ABSTRACT

REALIZING THE SPEED CONTROL OF THE DC CURRENT MOTOR WITH ANDROID APPLICATION

KESKIN, Idris

M.Sc. Thesis, Electrical-Electronics Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Naci GENÇ

August 2019, 77 pages

With the development of communication technology in recent years, there has been a significant increase in the studies on remote control of machines. In the light of these developments, remote and wireless control of electrical machines has become an important field of study both in home applications and industry. In addition to smart home applications, many systems used in the industry use electrical machines. It is desirable that electrical machines can be precisely controlled at low costs and at high efficiency. In this context, direct current (DC) motor is the preferred electrical machine in many applications due to its high efficiency, precise control, fast response, economic cost and remote-control parameters.

Many devices such as phones / tablets which are based Android / IOS operating system can be used for remote wireless control of electrical machines due to their Bluetooth, WiFi or GPRS capabilities. In this context, remote speed control and speed monitoring of the DC motor with a device with Android operating system is the main subject of this thesis.

In this thesis, it is provided to monitor and display the motor speed with the interface software developed in addition to the remote speed control of the DC motor with a device with Android operating system. In addition, transfer function was obtained by mathematical modeling of DC motor. PI (Proportional-Integral) control method is used for speed control of DC motor. After the simulation studies of the speed control of the modeled DC motor were completed, the experimental studies were carried out and the results were given.

Key words: Direct current (DA) motor, H-Bridge, PI control.



ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında, her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. Naci GENÇ'e teşekkür ederim. Ayrıca Sayın Prof. Dr. Mehmet Emin MERAL'a, Sayın Doç. Dr. Nuri ALMALI'ya, Sayın Dr. Öğr. Üye. Ali MAMİZADEH'e ve Sayın Dr. Öğr. Üye. Behçet KOCAMAN'a teşekkürlerimi sunarım.

2019

İdris KESKİN



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
EKLER DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	23
3.1. Doğru Akım (DA) Elektrik Motorları.....	23
3.1.1. Sürekli mıknatıslı doğru akım (DA) motoru.....	24
3.1.2. Sürekli mıknatıslı doğru akım (DA) motorun matematiksel modeli.....	25
3.1.3. Sürekli mıknatıslı doğru akım (DA) motorun transfer fonksiyonu.....	27
3.2. Sürekli Mıknatıslı Doğru Akım (DA) Motor Sürücüsü.....	31
3.2.1. H-Bridge devresi.....	31
3.3. Darbe Genişliği Modülasyonu (DGM & PWM).....	36
3.3.1. Darbe genişliği modülasyonunda (DGM & PWM) sayısal kontrol.....	43
3.3.2. PIC donanım kontrolörleri.....	46
3.3.3. PIC haberleşme ve kontrol.....	47
3.4. Uygulamada Kullanılan Mikrodenetleyici (PIC-18F2550).....	47
3.4.1. Timer 2 modülü.....	48
3.4.2. Capture/Compare/PWM modülü (CCP).....	49
3.4.3. PWM modülü.....	50
3.5. PI Kontrol ve Etkileri.....	51
4. BULGULAR	57
4.1. Simülasyon (Benzetim) Sonuçları.....	57
4.2. Uygulama Sonuçları	61

	Sayfa
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	69
KAYNAKLAR	73
EKLER.....	77
ÖZ GEÇMİŞ.....	93



ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Uygulamada kullanılan doğru akım (DA) enkoder motorun temel parametreleri.....	26
Çizelge 3.2. Uygulamada kullanılan doğru akım (DA) enkoder motorun transfer fonksiyon parametreleri.....	31
Çizelge 3.3. H-Bridge sürücü devresinde kullanılan mosfetlerin anahtarlama şekilleri.....	33
Çizelge 3.4. PI kontrol kazanç katsayılarının sisteme etkileri.....	53
Çizelge 4.1. Uygulamada kullanılan doğru akım (DA) enkoder motorun transfer fonksiyon parametreleri.....	59

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Elektrikli motor çeşitleri.....	23
Şekil 3.2. Doğru akım (DA) elektrik motorların tasarım şekilleri.....	24
Şekil 3.3. Doğru akım (DA) elektrik motorlarında demir nüveli bir bobinden elektrik akımı geçirildiğinde oluşan manyetik alan ve Fleming'in sol el kuralı.....	25
Şekil 3.4. Sürekli mıknatıslı doğru akım (DA) motorun iç yapısı.....	26
Şekil 3.5. Uygulamada kullanılan sürekli mıknatıslı doğru akım (DA) enkoder motor.....	27
Şekil 3.6. Sürekli mıknatıslı doğru akım (DA) motorun matematiksel modeli.....	28
Şekil 3.7. Sürekli mıknatıslı doğru akım (DA) motorun transfer fonksiyonu.....	30
Şekil 3.8. Uygulamada kullanılan doğru akım (DA) enkoder motorunun parametreleri girilerek elde edilmiş MATLAB/Simulink transfer fonksiyonu.....	31
Şekil 3.9. Uygulamada kullanılan H-Bridge sürücü devresinin Proteus çizimi.....	32
Şekil 3.10. İleri yönde H-Bridge motor sürücü devresinin Proteus ve Microsoft Visio çizimleri.....	33
Şekil 3.11. Ters yönde H-Bridge motor sürücü devresinin Proteus ve Microsoft Visio çizimleri.....	34
Şekil 3.12. Microsoft Visio'da oluşturulan H-Bridge motor sürücü devresi.....	36
Şekil 3.13. Üretilen kare dalga darbe sinyallerin genliklerinin duty cycle ile değişimi	38
Şekil 3.14. Darbe Genişliği Modülasyonunun (DGM&PWM) elde edilmesi.....	40
Şekil 3.15. Darbe Genişliği Modülasyonunun (DGM&PWM) ön, merkez ve arka kenar testere-üçgen dalga şekilleri.....	41
Şekil 3.16. Darbe Genişliği Modülasyonunun (DGM&PWM) dijital-sayısal üretim şekli (Tasarlanan devrede kullanılan PWM yöntemi).....	42
Şekil 3.17. Sayısal kontrol yöntemiyle uç geriliminin Ton ve Toff ile ilgili değişimi.....	43
Şekil 3.18. Sayısal kontrol yöntemiyle uç geriliminin görev periyoduna (duty cycle) bağlı olarak ortalama uç geriliminin değişimi.....	43
Şekil 3.19. Farklı görev periyotlarına (duty cycle) bağlı olarak ortalama uç geriliminin değişimi.....	44

Şekil	Sayfa
Şekil 3.20. Simülasyonda %25 ve %50 görev periyodu ile elde edilen PWM sinyalleri.....	45
Şekil 3.21. Simülasyonda %75 ve %100 görev periyodu ile elde edilen PWM sinyalleri.....	46
Şekil 3.22. Uygulamada kullanılan mikrodenetleyici (PIC-18F2550).....	47
Şekil 3.23. TMR2'nin T2CON kontrol 8 kontrol bitlik gösterimleri.....	48
Şekil 3.24. CCP1CON PIC modülünün adresi, kontrol 8 kontrol bitlik gösterimi ve 20 MHz kristal ile çalışan PWM çalışma frekansları ve çözünürlük aralıklarının gösterimleri.....	49
Şekil 3.25. CCP1 modülünün PWM akış diyagramı.....	50
Şekil 3.26. PI kontrolör blok diyagramı.....	53
Şekil 3.27. Sistemin birim basamak yanıtı.....	53
Şekil 3.28. Doğru akım (DA) motorun PI kontrolör ile hız kontrolü.....	54
Şekil 3.29. PI kontrol şeması.....	55
Şekil 4.1. Sürekli mıknatıslı doğru akım (DA) motorunun MATLAB/Simulink modeli.....	57
Şekil 4.2. Sürekli mıknatıslı doğru akım (DA) motorun transfer fonksiyonu.....	57
Şekil 4.3. Android uygulamayla doğru akım (DA) motorun PI hız kontrolünün PIC akış şeması.....	58
Şekil 4.4. Uygulamada kullanılan doğru akım (DA) enkoder motorunun parametreleri girilerek elde edilmiş MATLAB/Simulink transfer fonksiyonu.....	59
Şekil 4.5. MATLAB/Simulink ile elde edilmiş gerçek doğru akım (DA) motorunun zaman yanıtı.....	59
Şekil 4.6. MATLAB/Simulink ile transfer fonksiyonu yardımıyla elde edilmiş doğru akım (DA) motorun P, I, D, PI ve PID kontrolör zaman yanıtları.....	60
Şekil 4.7. Projede tasarlanan android uygulamanın ara yüzleri a. kontrol, b. ayarlar, c. grafik.....	61
Şekil 4.8. Projede tasarlanan doğru akım (DA) motor ve mikrodenetleyici kartı.....	62
Şekil 4.9. Projede tasarlanan H-Bridge devresi.....	62
Şekil 4.10. Tasarlanan projenin doğru akım (DA) enkoder motor PI kontrol devresinin Proteus şeması.....	63

Şekil 4.11. Android uygulamayla doğru akım (DA) enkoder motorun PI hız kontrolünün PIC ile tasarlanan devrenin tamamı.....	64
Şekil 4.12. Doğru akım (DA) enkoder motorun dijital osiloskop görüntüsü (V_M).....	65
Şekil 4.13. H-Bridge motor sürücü devresinin dijital osiloskop görüntüleri (V_M, V_{DS}).....	65
Şekil 4.14. İleri yönde H-Bridge motor sürücü devresinin dijital osiloskop görüntüleri (V_M, V_{DS1}, V_{DS4}).....	65
Şekil 4.15. Android cihazdan rpm: 1500 dev/dak, K_p : 0.1-0.2 ve K_i : 0.01 için alınan sonuçlar.....	66
Şekil 4.16. Android cihazdan rpm: 2000 dev/dak, K_p : 0.1-0.2 ve K_i : 0.01 için alınan sonuçlar.....	66
Şekil 4.17. Android cihazdan rpm: 2500 dev/dak, K_p : 0.1-0.2 ve K_i : 0.01 için alınan sonuçlar.....	67
Şekil 4.18. Android cihazdan rpm: 3000 dev/dak, K_p : 0.1-0.2 ve K_i : 0.01 için alınan sonuçlar.....	67
Şekil 4.19. Android cihazdan rpm: 3500-4000 dev/dak, K_p : 0.1 ve K_i : 0.01 için alınan sonuçlar.....	68
Şekil 4.20. Android cihazdan rpm: 3000 dev/dak, K_p : 0.1-0.2 ve K_i : 0.01 ve motor miline yük uygulanması sonucu elde edilen sonuçlar.....	68



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklama

A	Amper
V	Volt
MHz	Megahertz
kHz	Kilohertz
Ki	İntegral kazanç katsayısı
Kp	Oransal kazanç katsayısı
Kt	Moment Katsayısı
Ke	Gerilim (EMF) Katsayısı
kW	Kilowatt

Kısaltmalar

Açıklama

DA	Doğru akım
BJT	Transistor
M	Motor
MOSFET	Metal Oksit Alan Etkili Transistör
PI	Oransal-İntegral
PID	Türevsel-Oransal-İntegral
PIC	Mikrodenetleyici
PWM (DGM)	Darbe genişlik modülasyonu
D (duty cycle)	Sinyal Oranı (Görev Periyodu)
RPM	Dakikadaki Devir Sayısı



EKLER DİZİNİ

Sayfa

Ek 1. C dilinde yazılan program77





1. GİRİŞ

Doğru akım (DA) motorların kolay kontrol edilebilmeleri ve verimlerinin diğer motorlara kıyasla yüksek olması gibi üstünlüklerinden dolayı DA motorlarının hızları istenen değerler içerisinde ayarlanmaktadır. DA motorları endüstride hızlı taşımacılıkta, elektrik trenlerinde, elektrikli taşıtlarda, elektrikli vinçlerde, yazıcılarda, disket sürücülerinde, kâğıt endüstrisinde ve daha birçok kullanım yerlerinde, sanayide kontrol sistemlerinde, hassas konumlandırma ve ayarlanabilir hız çalışmalarında tercih edilir. Son yıllarda teknolojik gelişmelerle birlikte elektronik ev aletlerinde, az güçle ve ekonomik maliyetlerle tasarlanabildiğinden hassas konum ve hız kontrolü gereken uygulama alanlarında yaygın bir şekilde kullanımına başlanmıştır. (Chan, 1987).

DA motorlarının uygulama alanlarının geniş olmasının bir başka sebebi de alternatif akım (AA) motorlarına kıyasla kontrolünün daha basit olmasıdır. DA motorlarının sürücüleri AA motor sürücüleri ile kıyaslandığında, DA motoru sürücü devrelerinin basit ve ucuz olması, fırça ve komütatör bakım masraflarının büyük ölçüde azaltılmış olmasından dolayı DA motoru kullanılan uygulama sayısını daha da arttırmış ayrıca ayarlanabilir hız uygulamalarında DA motorunu diğer motorlara göre daha avantajlı hale getirmiştir (Castagnet, 1992).

DA motor sürücülerinin uygulama alanlarında kullanılan analog sürücüler, analog devre elemanları ve sürücü devresi için dizayn edilen kontrol şemaları gibi dezavantajları bulunmaktadır. Günümüzde elektrik-elektronik ve yarı iletken teknolojisinde gelişmeler ışığında mevcut elektrik ve elektronik sistemlerden daha küçük olan, daha hızlı çalışabilen, daha ekonomik ve kolay kontrol edilebilir hızlı sürücüleri mikrodenetleyiciler ile tasarlamak daha kolay hale gelmiştir (Bodson, 1990; Sene, 1996).

Yarıiletken teknolojisindeki gelişmeler sayesinde küçük, hızlı, ekonomik mikrodenetleyiciler ve güç anahtarlama elemanlarının üretilmesine olanak sağlamasıyla beraber DA motor sürücü sistemlerinin kontrolü daha çok gelişmiştir. DA motor sürücüleri pahalı ve karmaşık yapıda olmadığı için motor kalkış, durma, frenleme ve hareket yönü değişimi gerektiren birçok endüstriyel uygulamalarda hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, maliyeti az bir mikrodenetleyiciyle istenilen kontrolün sağlanabilmesi için DA motor tercih edilebilir. DA motorun sürekli kalkış, hareket yönü değişimi, frenleme ve hızlanmaya ihtiyaç duyan uygulamalarda H-Bridge sürücü

devresine gereksinim vardır. Bu sürücü kartı ile yapılan hız ayarı, yön kontrolü ve frenleme gibi uygulamaların diğerlerine göre daha verimli ve daha ekonomiktir (Altun ve ark., 2008).

Gelişen teknoloji ve ekonomik alım gücünün yükselmesiyle artan yaşam standartları ve kullanıcıların daha iyi ve daha kaliteli teknolojik aletlere gereksinim duymasıyla yüksek hız, düşük hata oranı ve hassas kontrol gibi elektronik cihazlarda olması gereken ihtiyaçları ortaya koymuş ve bu da dönel hareketten elde edilebilecek doğrusal hareket yerine doğrudan manyetik kuvvet ile elde edilebilen doğrusal hareketi daha kullanılabilir hale getirmiştir. Lineer motor teknolojisine yapılan ekonomik yatırımların ciddi boyutlarda olması dünyada teknolojik geliştirme çalışmalarının artarak hız kazanmasının önemli sebeplerindendir. Orta ve Uzak Doğu'da ön plana çıkan, lineer motor çalışma şekline göre hareket eden trenler, yüksek hız uygulaması, gelişmiş kamera ve fotoğraf makinesi sistemlerinin görüntüyü sabitlemek için merceklerinin lineer motorla hareket ettirilmesi hassas konumlama uygulamalarına örnek verilebilir. Ayrıca tıp alanında bulunan medikal sistemlerde hastanın nefes alıp verme hayati gereksinimleri gibi zaruri fonksiyonlarını bile hep aynı seviyede tekrarlanabilmesi için lineer motor kullanımı düşük hata oranı sayesinde sanayi, tıp ve endüstriyel uygulamalarına verilebilecek en güzel örneklerdir. Bu bağlamda önü açık ve geliştirilmeye müsait olan lineer motorları ve sürücü devrelerinin teknolojileri, araştırma konusu olarak ele alınması gereken son derece önemli konular olup bu alanda çalışmalar tüm hızıyla devam etmektedir (Çepni, 2010).

DA motorları teknolojisinin geçmişi çok öncesi olmasına rağmen 50 yıllık bir süre içinde DA motorları üzerinde çok fazla çalışma yapılmamış ve DA motorlar pek gündeme gelmemiştir. Yakın zamanda ise lineer motora olması gereken değer verilerek beraberinde araştırma konularında sıklıkla incelenmiş üzerinde önemli araştırma çalışmaları yapılmış ve lineer motor başlıklı projelerin sayısı hızla artmaya başlamıştır. Lineer elektrik motorlarının geçmişi 1840'lı yıllara, Charles Wheatstone'ın Londra'da, King's College'de yaptığı çalışmalara kadar uzanmaktadır. Wheatstone'ın o dönemde tasarladığı model, çok düşük verimle çalışmış olup uygulama alanları için hiç uygun olmadığı ortaya çıkmıştır. Uygulanabilir ilk lineer motor 1905 yılında Alfred Zehdan adıyla elde edilen patentlerle piyasa çıkmıştır. Bu model tren ve asansörleri sürmek olup 1935 yılında ise Alman mühendis Hermann Kempler çalışan bir lineer motor modeli

tasarlamıştır. 1940'lı yıllarda Londra Iperial College'da araştırmalarını sürdüren Prof. Dr. Eric Laithwaite düzgün ve verimli bir Şekilde çalışabilen bir doğrusal motor sistemi ortaya koymuştur. Bundan sonra elde edilen gelişmelerle lineer motorlar yüksek hızda veya yüksek güçte olmak üzere iki ana başlık üzerinde durularak gelişimlerini devam ettirmişlerdir (Çepni, 2010).

H-Bridge devresi olarak tasarlanan, bir yükle devre üzerine bağlanan tek bir gerilim kaynağı kullanılarak pozitif ve negatif bir gerilimin üzerinde indüklenmesini sağlayan çok önemli bir güç elektroniği devresidir. Bu devre Doğru Akım (DA) motorların rotorlarının çift yönlü olarak hareket etmesi için robotik ve diğer uygulamalarda oldukça fazla kullanılır. H-Bridge sürücü devresi DA motorlarının çift yönlü hareketine izin vermesi ve kullanılan motorun iki veya dört bölge çalışmasına imkan sağladığı belirtilmiştir (Çepni, 2010).

DA motor sürücülerde hassas konum ve hız kontrol teknolojisi gün geçtikçe gelişmeye devam etmektedir. DA motor sürücülerinin günümüzdeki durumu geçmiş 25 yıl öncesine göre çok ileride olduğu ortadadır. Yarış ağı olan günümüzde teknolojik gelişmelerle birlikte rekabet elektrik ve elektronik alanda başlamıştır. Ulaşım, haberleşme, endüstri, tıp, askeri ve daha birçok alanda elektrik ve elektroniğin kullanılmadığı alan olmadığı, özellikle çok fazla karmaşık ve kompleks uygulamalarda analog sistemlerden sayısal sistemlere geçildikten sonra yapılan tasarım ve uygulamalar daha basit, güvenli, hızlı, ekonomik ve kontrol edilebilir, olmuştur (Bal, 2006).

Tasarımda ihtiyaç duyulan mikrodenetleyici kısmı denilince akla ilk gelen mikroışlemci kartı gelmektedir. Yazılım alanında kullanılan bütün mikrodenetleyicilerin temelinde bir mikroışlemci vardır. Fakat uygulama alanlarında mikroışlemciler yerine mikrodenetleyicilerin tercih edilmesinin birçok avantajı bulunmaktadır. Mikroışlemcileri kullanabilmek için bazı yan donanımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Mikrodenetleyici ara birimleri, I/O nitesi, CPU ve bellek gibi ünitelerdir. Bu ara birimler program yazmayı zorlaştırdığı gibi maliyet açısından da tasarımı olumsuz etkiler. Fakat mikrodenetleyiciler bu ünitelerin bütün özelliklerini kendi üzerinde topladığı için gelişen teknolojiyle bu mikrodenetleyicilerin kullanımı yaygınlaşmıştır (Soysal, 2010).

Mikrodenetleyicilerin tasarlanan uygulamalarda kullanılırken talepleri yerine getirmeleri gerekmektedir. Uygulamanın yazılım kısmında kullanılan mikrodenetleyiciye ait yazılım dilinin basit olması, bu işlemci belleği üzerinde simülasyon (benzetim)

yapılması, belleğin yeterli kapasitede olması, maliyetlerinin düşük olması gibi kriterlere önem verilmelidir. Yazılımda kullanılan PIC mikrodenetleyicisi dışındaki EPROM tabanlı mikrodenetleyicilerde programlandıktan sonra ultraviyole ışık kaynağı sayesinde silinip tekrar programlanabilir. Ancak PIC serisi mikrodenetleyicilerde EPROM belleği silinmeyebilir. Bu özelliğe işlev gören mikrodenetleyicilerde programlayıcı devre EPROM belleği yaklaşık bir saniye içinde silinebilir ve enerji kesintilerinde yazılan programın silinmemesi için FLASH memory ünitesi devreye girerek söz konusu problem de ortadan kaldırılmıştır (Soysal, 2010).

Tasarım uygulamalarında mikroişlemcilerin ve mikrodenetleyicilerin rolü oldukça yüksektir. Teknolojik gelişmeler ile birlikte, bu alanlarda kullanılan doğru akım (DA) motor hız sürücülerinin uygulamalarında da mikroişlemci ve mikrodenetleyicilerin kullanımları hızla artmıştır.

Bu projede değinilen günümüzde teknolojik gelişmelerin yaşandığı motor ve cihazların kontrolü üzerine, sistemi daha iyi analiz etmek ve kontrol edebilmek için prensip açısından faaliyet gösterecek uzaktan kablosuz bir kontrol sisteminin tasarlanması planlanmıştır. Bu bağlamda uzaktan kablosuz doğru akım (DA) motor kontrolünü dizayn edebilmek için 5 ana başlık detaylı olarak incelenecektir.

- Doğru akım (DA) Motor
- H-Bridge (Motor Sürücü Devresi)
- PWM (DGM)
- PI Kontrol
- Mikroişlemciler

Motor ile ilgili olarak projede, motorların genel yapısı ve çalışma prensibi ile ilgili olarak yapılan çalışmalar doğrultusunda teorik bilgiler elde edilmiştir. Motorun genel yapısından ziyade motorun içyapısı, hangi kısımlardan meydana geldiği, çalışma tekniği olarak kanunlar, yasalar, formüller ve proje kapsamında tasarlanan uygulamada (devrede) kullanılan motorun davranışları üzerine incelemelerde bulunulmuş elde edilen veriler simülasyon (benzetim) ve uygulama deneylerinde kullanılmıştır. Eğer doğru akım (DA) motor davranışları hakkında ayrıntılı bir inceleme yapılmayıp, sadece yapısı ve bazı temel formüller üzerinden motor konusu bitirilseydi sağlıklı ve detaylı bir kontrol sistemi

dizayn etmek mümkün olmazdı. Yukarıda sayılan 5 ana başlık ayrı ayrı teori ve uygulamalı olarak incelenerek tasarımda kullanılmak üzere araştırmalar yapılmıştır. Ayrıca sistemin uzaktan kablosuz haberleşme birimi olarak HC-05 Bluetooth modülü üzerinde durulmuştur.

Sürücü devreleri normalde tek başına bir anlam ifade etmeyen ancak uygulamalı devre tasarımlarında sisteme özgü dizayn edilen ayrıca ihtiyaç duyulan çok önemli bir elektronik devredir. Uzaktan kablosuz haberleşme ile motor kontrolü yapılması tasarlanan projede tüm bilgiler bir araya getirilerek sistem için ihtiyaç duyulan sürücü devre kısmı, doğru akım (DA) motoru, uzaktan kablosuz haberleşmeyi sağlayan bluetooth modül ve mikrodenetleyici kartı bir araya getirilip birbirleriyle uyumlu ve doğru çalışan bir tasarım elde edilmiştir.

Tezin amacı, android bir cihazla doğru akım (DA) motorun PI hız kontrolünü yaparak devir/zaman grafiklerini referans alınan hızlara göre çizdirilerek seçilen doğru akım (DA) motorun en ideal çalışma şartlarında nasıl kontrol edildiğini gözlemlemektir.

Doğru akım (DA) motorun PI kontrolü için kullanılan android uygulaması üç bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde, PI kontrolle ilgili ayarlar bulunmakta olup, referans devir, K_p ve K_i parametrelerinin ayarları yapılmaktadır. Bu bölümde motor dönüş yönü de ayarlanmaktadır. Motoru başlatma ve durdurmak için iki ayrı tuş bulunmaktadır. Sol alttaki kısımda alınan veri sayısı gösterilmektedir. Bu veri sayısı elde ettiğimiz grafiğin zamana göre uzamasını veya kısalmasını sağlamaktadır.

İkinci bölümde, bulunan ayarlar bölümünde veri sayısı ayarı ile motorun veri tamamlandığında durup durmayacağı seçenekleri bulunmaktadır.

Üçüncü bölümde, elde edilen veriler grafik olarak gösterilmektedir. Oluşturulan grafik devir zaman grafiğidir. İşlemciden alınan verilerle otomatik olarak oluşturulmakta ve detaylı inceleme için görüntü büyütme ve kaydırma işlevleri de bulunmaktadır.

Ünitede 16 MHz osilatör frekansı ile çalışan PIC-18F2550 mikroişlemcisi kullanılmıştır. İşlemcide 10 bit çözünürlükte iki PWM üretici bulunmakta olup, motor sürücü devremizde bulunan mosfetlerin sürülmesinde kullanılmıştır.

Yazılım olarak C dili seçilmiş olup hazırlanan devrede PI kontrol yapılarak seçmiş olduğumuz doğru akım (DA) motorun ideal ve kararlı çalışma hızları tespit edilmiştir.

Sistemde bulunan motor 12V gerilimle çalışmakta ve maksimum 10200 devir/dk hıza ulaşabilmektedir. Motorun arka bölümünde bir turda 48 saykıl oluşturan enkoder bulunmaktadır. Enkoder geri besleme için kullanılmış olup, işlemcinin dış kesme oluşturan B0 pinine bağlanmıştır. Kablosuz bağlantı için HC-05 Bluetooth modülü kullanılmıştır.

2 adet IRF9540N ve 2 adet IRF530N mosfetten oluşan H-Bridge motor sürücü devresinde N kanal mosfetleri sürmek için 2 adet BC337 transistör kullanılmıştır. P kanal mosfetler ise direkt olarak mikrodenetleyicinin (PIC-18F2550) çıkışından sürülmüştür.

Motorun devir hızı ve PI kontrolde kullanılacak K_p ve K_i değerleri kontrol ekranından girilerek, motorun dönüş yönü belirlenmekte ve başlatma tuşuna basılarak ilk hareket verilmektedir. Motorun ilk hareketini sağlamak için PWM duty cycle 350 olarak belirlenmiştir.

Her turda PI kontrolü yapılmış olup. Oluşan hata oranı ve bir turun tamamlanma zamanı Timer1 sayacından elde edilen bilgi ile tespit edilmiştir. Oluşturulan PI update fonksiyonunda, elde edilen değerler ile PI kontrolü sonucunda uygulanacak PWM duty cycle oranı belirlenmiş olup, her devir sonunda sisteme uygulanmıştır.

Oluşturulan sistemin 1500-3000 devir/dakika hızlarda verilen K_p ve K_i değerlerine bağlı olarak yaklaşık 1,5-2 saniye içinde kararlı hale geçtiği gözlemlenmiştir. Daha küçük K_p ve K_i değerlerinde, sistemin daha kısa sürede kararlı hale geleceği açıktır.

Kablosuz uzaktan sistem kontrolünü amaçlayan çalışmamızın amacı günümüzde gelişen teknolojiden faydalanarak elektrik, elektronik ve yazılımı birleştirerek bir doğru akım (DA) motorunu uzaktan kablosuz kontrol edilebilen bir sistem dizayn edilmiştir.

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Kumar ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada doğru akım (DA) motor hız kontrolü için modern teknikleri başlıklı çalışmalarında doğru akım (DA) motor hız kontrol yöntemleri analiz edilmiş, alan direncindeki artışın motorun yüklü veya yüksüz durumları incelenmiştir. Ayrıca harici bir direncin yerleştirildiği yöntem armatür devresi üzerinde tork hızının eğiminde kayda değer artışın, MATLAB/Simulink modelleri ile laboratuvar deneylerinde doğru akım (DA) motor hız kontrolü özelliklerinin daha net görülebilmesi için değişken parametreler üzerinde durulduğu görülmüştür.

Nagpal ve ark. (2015), yaptıkları çalışmada yaygın olarak endüstriyel ve gelişen teknolojiyle kontrolü daha kolay olan DA motorda hız, yön ve tork kontrolünü geleneksel orantılı performans integral kontrol ve bulanık mantık denetleyicisi yöntemleri uygulandığı görülmüştür. DA motor parametreleri belirlenerek MATLAB/Simulink modellemesi yapıldığı, DA motor hız PI kontrolü için K_p ve K_i parametreleri kontrolü sağlamak için sürekli ayarlanması gerektiğinden daha iyi yanıt almak için kendinden ayarlı bulanık PI ile çevrimiçi daha iyi kontrol imkanı sağlamıştır. Böylece PI denetleyici otomatik olarak hız hatasına uygun parametreler sisteme girileceği için sistem daha çabuk cevap verecektir. Benzetim sonuçları karşılaştırıldığında konvansiyonel PI kontrolöre göre kendinden ayarlamalı PI denetleyici daha iyi bir performansla sahip olacaktır. Kendiliğinden yapılan FLC, daha kısa sürede daha dinamik tepkiye sahiptir. Tepki süresi daha kısa, küçük aşma zamanı ve yüksek hassasiyete sahip olduğu üzerinde durulmuştur.

Dwivedi (2013), yaptığı çalışmada doğru akım (DA) şönt motorun hız kontrolünü armatürdeki reosta direnç ile eşzamanlı kontrolünde, DA motorların en büyük avantajı hız kontrolü olduğu, hızın doğrudan armatür voltajıyla orantılı ve manyetik akıyla ters orantılı olduğundan kullanılan reosta direnç yardımıyla armatür voltajını veya alan akımını ayarlayarak rotor hızı değiştirilebileceği ve bu motorların yaygın olarak yüksek veya düşük hızlarda günümüz teknolojisinde yaygın olarak kullanıldığına değinilmiştir.

Bharadwaj (2015), yaptığı çalışmada DA motorlarında hız kontrolünün karşılaştırılmalı analizi ve MATLAB/Simulink ile hız kontrol teknikleri üzerinde deney ve simülasyonlar yapıldığı, DA motorun hızı, motorun bazı parametrelerinin miktarlarını kontrol etmekle mümkün olacağı, DA motor hız tepkilerinin simülasyonları yapılmış PI, FLC (Fuzzy Logic Controller) ve PID sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak yapılan

kontrol yöntemlerinde elde edilen veriler olan yükselme zamanı (rise time), yerleşme zamanı (settling time), salınım oranı (overshoot) ve denge durumu (steady-state value) karşılatılmış ve birbirine olan üstünlükleri üzerinde durulmuştur.

Nizwa ve ark. (2015), yaptıkları çalışmada DA motorların armatür kontrolü ile zaman tepki analizi ve farklı kontrol yöntemleri kullanılarak performans iyileştirilmesi sağlanmıştır. Motorun transfer fonksiyonu elde edildikten sonra “P”, “I”, “D”, “PI”, “PD” ve “PID” kontrol yöntemleri MATLAB/Simulink simülasyonunda uygulanarak elde edilen deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Farklı kontrol tipleri tanıtılarak birbirine olan üstünlükleri değerlendirilmiştir. Çıkan sonuçlarda DA motorun sürekli durum tepkisi hem de DA motorun geçici durum tepkisi iyileştirildiğine değinilmiştir.

Rajan (2017), yaptığı çalışmada DA motorun armatür saha kontrolü ile hız kontrolünün tork ve güç değişimleri gözlemlenmiştir. Kombine alanın ve armatürün doğrusal olmaması kontrol sistemini gerektirmiştir. DA reosta dirençli seri motora voltaj değeri değiştirilerek armatür gerilimi ve hız değişmesi sağlanır. Bu yöntem hız kontrol etmenin en çok kullanılan yöntemlerden biri olduğu ve bu motorların hız kontrolü üzerinde durulduğu görülmüştür.

Shimpi ve ark. (2018), yaptıkları çalışmada Bluetooth kullanarak doğru akım (DA) motorun hız kontrolü yapan cihaz tasarım uygulamasında, bu çalışma bluetooth ve kablosuz özellikli cihazlarda ayrıca android uygulamaları için kusursuz bir ara yüz sağlar. Uygulama ile kontrol, izleme ve görselleştirme elde edildiği, projenin avantajı uygun maliyetli, çevre dostu ve enerji tasarrufu sağladığı, kesintisiz ve güvenli bir şekilde kablosuz haberleşmeyle hız kontrolü gerektiren uygulamaların neredeyse hepsinde kullanılabilirdiği, bluetooth aralığının dışında kullanılamaması ve internet üzerinden kontrol edilememesi gibi dezavantajları üzerinde durulmuştur.

Sharma ve ark. (2014), yaptıkları çalışmada doğru akım (DA) seri motorun hız kontrolü, mekanik (sürtünme) frenlemesi ve elektriksel frenlemeler detaylı olarak incelenmiş, yapılan çalışmalarda ayrı bir değişken güç kaynağı kullanılarak ya da armatüre seri bağlanmış reosta direnç ile motorun hızı değişimi sağlanmıştır. Acil durumlarda elektriksel frenlemenin yapılabileceği, DA şönt motorlarda ise bunun üç farklı şekilde yapıldığı, Reostatik frenleme ya da dinamik frenleme, tıkama yöntemi ile frenleme veya rejeneratif frenlemelerin yapılabileceği üzerinde durulmuştur.

Ogawa ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada doğru akım (DA) motorun iki örnekleme gözlemcisi kullanarak iki aşamalı kontrol sitem tasarımında, birinci aşama sensör kullanmadan konvansiyonel yöntemle çözüm, ikincisi ise sensör kullanmadan önerilen yöntemdir. Açısız hızın DA motorlarında uygulanan voltaj seviyesi ile farklı metotlarla kontrol edilebildiğine vurgu yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmada kontrol sisteminin blok diyagramının verildiği, optimal kontrole dayalı iki aşamalı kontrol yapılarak bir çift örnekleme gözlemcisi kullanıldığı, Two-stage kontrolü hız ve pozisyon kontrolünden oluştuğu ve elde edilen simülasyon deney sonuçlarına değinildiği görülmüştür.

Solanki ve ark. (2013), yaptıkları çalışmada doğru akım (DA) motorun karşılaştırmalı bir hız teknikleri analizlerinde bulunmuş tek fazlı AC/DC dönüştürücü kullanarak DA motor ayrı olarak uyarılarak hız kontrolü yapılmış, çok çeşitli yükleme koşulları için sonuçlar elde edilmiştir. Yarım dalga ve tam dalga tristörlü sürücüler ile kontrolün sağlandığı, armatür akımındaki süreksizliği kaldırmak için indüktansın seri olarak kullanılması gerektiği, sonuç olarak tasarlanan devre çok çeşitli yük torkları için kullanıldığı belirtilmiştir.

Arıcı ve Arslan (2013), yaptıkları çalışmada sürekli mıknatıslı doğru akım (DA) motorun hız kontrol yöntemi olarak sistem parametreleri kendiliğinden ayarlanan dışardan uyarmalı kontrol tekniği üzerinde incelemeler yapıldığı, sisteme dışardan bilgi girilebilmesinin önemli olduğu, bunun için sistemin transfer fonksiyonunun kullanıldığı, farklı frekans giriş tipleri kontrolün performansını ölçmek için kullanıldığı ayrıca sistemin kontrol denetleyicisine cevabının hızlı olduğu sonuçları üzerinde durulmuştur.

Patel ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada bir doğru akım (DA) motor için PWM tabanlı hız kontrol devresinde PWM kullanarak sırayla değişen darbe görev döngüsü elde etmek için değişebilir mikrodenetleyeci çıkış portlarını değiştirerek devrede kullanılan motorun hızını ve motorun yönünü etkin bir şekilde değiştirmek üzerinde durulmuştur. Sonuçta bir darbe genişliği modülasyonu sabit frekans tarafından üretilerek değişen görev periyoduyla motor terminal gerilimi değişeceğinden motor farklı hızlarda tahrik edilerek hız kontrolün yapıldığına değinilmiştir.

Yousef ve Mostafa (2015), yaptıkları çalışmada mikrodenetleyici kullanarak PWM tekniğine dayanan doğru akım (DA) motorun düşük maliyetli çift yönlü hız kontrolünün tasarımı, simülasyonu ve uygulamasında sistemin iki farklı frekansta PWM

üretecek şekilde tasarlandığı, önerilen kontrol sistem modeli, çıkış PWM sinyallerinin görev periyodunu değiştirerek DA motorun hızını ve yönünü kontrol edildiği, devrenin simülasyonunu elektrikli osiloskopta yapılarak sonuçlarının görev periyoduna göre değiştiği, DA motoru sürmek için L293D cihazında H-Bridge kullanılarak yarı iletken anahtarların iletme ve kesime sokulma şekillerine göre DA motorun hız kontrolünü ve yön kontrolünün yapıldığına vurgu yapılmıştır.

Kurt (2002), yaptığı çalışmada DA motor kontrol devreleri için geliştirilen zamanla bu mikrodnetleyicilerin artması ve PWM yönteminin bu kontrol kartlarına kolaylıkla yüklenmesi veya üretilmesinden dolayı PWM metodunun kullanılabilirliği ve güvenilirliğini arttırdığı, bu uygulamada DA motorun moment ve hız kontrolünde giriş frekans ve gerilimini kullanan etkin yöntemin PWM olduğu ancak PWM sürücülerin bu kontrolde modülatöre ihtiyaç duyması bir dezavantaj olarak görüldüğü, bu alanda modülatöre gerek duymayan moment ve akıyı kullanan doğrudan tork kontrolünün alternatif bir yol olduğu üzerinde durulmuştur.

Islam ve Tripathi (2016), yaptıkları çalışmada doğru akım (DA) motorda hız kontrolünün uygulanan darbe genişlik modülasyonu ile yapılması ve bunun MATLAB/Simulink ile simülasyon sonuçlarının incelenmesinde, sabit hız kontrollü yüksek hassasiyetli, güvenilir ve farklı motor yapılarıyla daha iyi adaptasyon sağlandığı, kullanılan DA motoru sürmek için Full H-Bridge kullanıldığı, bunda da yarı iletken anahtar olarak mosfetlerin kullanıldığı böylece istenen hız kontrolünün elde edildiği ve değişken görev periyoduna sahip bağımsız PWM çıkışı, %0 - %100 arasında değiştirilecek şekilde üretildiği belirtilmiştir.

Yousef ve Mostafa (2016), yaptıkları çalışmada mikrodnetleyici kullanarak bağımsız frekanslarla farklı PWM sinyalleri üreterek iki adet doğru akım (DA) motorun hız kontrolünü sağlamak için devre tasarımı ve simülasyon sonuçlarının incelendiği, mikrodnetleyicinin gömülü CCP modülleriyle PWM üretildiği, çeşitli görev periyotlarında çalıştırıldığı, gerçek zamanlı PWM küçük güçlü DA motorların kontrol etmede kullanılabileceği, düşük maliyet, basitlik, düşük donanım ayarı, gelecekte geliştirilebilmeye uygun olduğu ayrıca H-Bridge devresiyle DA motorları iki yöne yönlendirmek ve bunları yeterli akımla sağlamak için kullanıldığı, üretilen PWM sinyalleri ile simülasyon sonuçlarının incelendiği, iki PWM için farklı görev periyotları ile RC1 ve RC2 pinlerinden CCP1 ve CCP2 iki modülünde sinyaller üretilmesi ve ölçülen

çıkış voltajı ve motor terminal voltajının kontrolü ile kullanılan motorların hızları ve yönlerinin kontrol edildiği üzerinde durulmuştur.

Özer ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada H-Bridge ile doğru akım (DA) motorun sürücü devresini mikrodenetleyici kullanarak dizayn edilmesi, DA motor için tasarlanan sürücü devresi ile motorun hem ileri hem de geri dönmesinin sağlandığı, H-Bridge için NPN ve PNP tiplerinde mosfetlerin kullanıldığı, anahtarlama tekniği sayesinde anahtarlama kayıplarının azaltıldığı, ayrıca bu sürücü devresi sayesinde 300W gücünde DA motorun 12V veya 24V'da çalışan ve yaklaşık 10A'ya kadar kullanılarak motor hız kontrolünün de yapılabileceği ayrıca üretilen PWM için farklı görev periyotlarında motorun yönü ve çektiği akımı ve motor ileri yönde döndüğünde geri EMF gerilim değerlerinin simülasyonları üzerinde durulmuştur.

Phan (2011), yaptığı çalışmada doğru akım (DA) motorlarında kullanılan H-Bridge üzerinde yapılan uygulamalarda mosfetlerin kullanıldığı, DA motorun hızını ve motorun dönme yönünü kontrol etmek için kullanılacak anahtarlar olarak işlev gördükleri, bunun için darbe genişlik modülasyonu olan PWM sinyaline ihtiyaç olduğu, anahtarlama üzerinde yapılacak değişikliklerde DA motorun yönünün değiştirilebildiği, farklı görev periyotlarda üretilen PWM ile de DA motor hız kontrolün yapılabileceği, H-Bridge'de kullanılan, ters yönde bağlanan diyotların görevinin motor durmaya başladığında akımın dağılması veya boşalması için açılan yolda kullanılan diyotlar ile sağlandığı, bu kontrol yöntemlerinde H-Bridge devrelerin kullanımının basit ve kontrol etmenin kolay olduğu için tercih edildiği, yapılan çalışmada üzerinde durulan asıl sorunun motorun çekeceği voltaj ve akıma göre entegre devre ve ona göre güç kaynağı olduğuna değinilmiştir.

Hatem (2019), yaptığı çalışmada arduino ile DGM (darbe genişlik modülasyonu) kullanarak DA motorun yönü ve hızı üzerinde yapılan çalışmada, doğru akım (DA) motoru sürmek için H-Bridge ile kullanılan motorun ileri, geri, frenleme ve boşa çalışma lojik kapı ve anahtarlama yapıldığı, ayrıca üretilen PWM ile farklı görev periyotlarında DA motoruna uygulanan ortalama gerilim değeri değiştirilerek motorun hız değerlerinin değiştiği yapılan laboratuvar çalışmaları ve simülasyon deney sonuçları ile belirtilmiştir.

Ali (2017), yaptığı çalışmada doğru akım (DA) motorun hızını ve yönünü kontrol etmenin konveyör sürüş maliyetleri hakkında yapılan çalışmalarda, DA motorun yönü

ve hızı üzerinde yapılan çalışmada, DA motoru sürmek için H-Bridge de güç mosfetlerinin kullanıldığı, motorun ileri, geri dönmesi için anahtarlamaların yapıldığı, ayrıca üretilen PWM ile farklı görev periyotlarında DA motoruna uygulanan ortalama gerilim değeri değiştirilerek motorun hız değerlerinin kontrol edildiği, bu önerilen tasarımın DA motorlar için kolay ve düşük maliyetli bir şekilde sürmek için faydalı olduğu, laboratuvar çalışmaları ve simülasyon deney sonuçları incelendiği, çoğu robotik uygulamalarda kullanıldığı ayrıca konveyörü çalıştırmak için de kullanışlı olduğu belirtilmiştir.

Petru ve Mazen (2014), yaptıkları çalışmada konveyör bant kullanmak için bir doğru akım (DA) motorunun PWM kontrolü uygulamasında, DA motoru sürmek için H-Bridge kullanıldığı, bu sürücü devresi ile konveyörü ileri-geri yönde çalışmasının sağlandığı, H-Bridge sürücü devresinde anahtarlama elemanı olarak transistörlerin kullanıldığı, DA motorun hızını kontrol etmek için de üretilen PWM ile farklı görev periyotları sayesinde DA motorun hızı kontrol edilmiş sonuç olarak konveyör bandın kontrolünün sağlandığı, konveyör bandın hızını ölçmek içinde bir takometre kullanıldığı, bu şekilde kullanılan otomasyon ekipmanlarının maliyetinin düşeceği belirtilmiştir.

Gupta (2010), yaptığı çalışmada H-Bridge motor sürücü devresi ile DA motorun hız kontrol sistemi dizayn edilmiştir. H-Bridge sürücü devresinin üç durumu belirtilmiştir. İlk durum motorun hareketini ve diferansiyel tahrik kavramını açıkladığı, ikinci durum transistörlerin uygun tetiklenmesini vurgulayarak, önceki durumu iyileştirdiği, üçüncü dizayn ise ağır yük koşullarında H-Bridge motor sürücü devresi olduğu, üç durum için de verimli bir sürüş sistemi oluşturmak için temel araştırmaların yapıldığı, robotik uygulamalar için bir tahrik sistemi, robotun iyi hareket etmesini sağlayacak kadar verimli olması gerektiği, yükü taşımak için gereken akımın da büyük olacağına değinilmiş, kullanılan H-Bridge tahrik sistemlerini verimli hale getirilmesine yardımcı olmuş ve doğru yük ile ağır yük koşullarında verimli çalıştığı belirtilmiştir.

Gavran ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada doğru akım (DA) motorun hız kontrolü için PI kontrolünün yapıldığı, MATLAB Simulink ortamında simülasyon sonuçları incelendiğinde, DA motorun hız, yön ve tork kontrolünü geleneksel orantılı performans integral kontrolünün uygulandığı, DA motor parametreleri belirlenerek MATLAB Simulink modellemesi yapıldığı, DA motor kontrolörün blok şemasının MATLAB/Simulink ile elde edildiği, DA motor hız PI kontrolü için $P = 1$, $I = 1$, değerleri

için 1000 RPM motor hızında 3 saniye yüke verilen tepki ölçülmüş bu zamandan sonra motor tekrar kontrol edildiği hıza yani 1000 RPM hızına döndüğünü gösteren simülasyon deney sonuçlarının üzerinde durulduğu, motor kontrol ünitesinin daha dinamik olması için P ve I parametrelerinin değiştirilerek sistem kontrolünün en uygun sonuçları üzerinde durulmuştur.

Mutalib (2008), yaptığı çalışmada doğru akım (DA) motorun hız kontrolünde PI kontrolör kullanıldığı, iki metot ile açıklamaya çalıştığı, birinci metotta teğet çizgiyle yanıt yöntemi olan PI kontrol cihazın ilk önce nasıl ayarlanacağını açıkladığı, ikincisinin ise asıl yöntemin olduğu, kritik kazanç değerleri olan K_{cr} ve P_{cr} belirlendikten sonra, K_p parametresinin $0.45K_{cr}$ olduğu, K_i parametresinin ise $0.83P_{cr}$ olduğunu açıkladığı, DA motorlar üzerinde çalışılmış ve elektrik enerjisini nasıl mekanik enerjiye dönüştürdüğü hakkında elektromekanik enerji dönüşümü blok diyagramı ve işlem prensipleri üzerinde durulmuştur.

Jambulingam (2016), yaptığı çalışmada doğru akım (DA) motorun konum kontrolünü PI kontrolör kullanarak yapıldığı, endüstriyel uygulamalarda yüksek performans gerektiren motor sürücülerine ihtiyaç duyulduğu, DA motor kontrolörün ayarlanabilir bir hız makinası olarak kullanılabilceği ayrıca DA motorların avantajları titreşimsiz çalışmaları, sessiz, hızlı verimli olmaları onları bu alanda yaygın olarak kullanılmaya sebep olduğu, PI kontrolü için dört kural altında gerçekleştirildiği bunlardan birincisinde, DA motorun matematik modelinden neyin iyileştirilmesi gerektiği, ikincisinde, yükselme süresini iyileştirmek için orantı sabitinin eklendiği, üçüncüsünde, integral kontrol sürekli durum hatasını ortadan kaldırmak için kullanıldığı, dördüncüsünde ise, tasarım gereksinimi karşılanıncaya kadar K_p ve K_i değerlerine ayarlamaların yapılması gerektiğine vurgu yapılmıştır.

Singh ve ark. (2012), yaptıkları çalışmada doğru akım (DA) servo motorun hız hatasını minimize etmek için PI kontrolör tasarlandığı, DA servo motorun blok diyagramının MATLAB/Simulink ile oluşturulduğu, bunu yapabilmek için kullanılan motorun parametrelerinin tespit edildiği, PI kontrolün performansı simülasyon ile değerlendirildiği, kontrol kazancı minimize edilerek sistemin hatayı elde etmek için ayarlandığı, minimum stabilizasyon süresinin oluştuğu, yaklaşık sıfır kontrolör dalgalanması (aşınması) süresi, yerleşme zamanı gibi değerlerin elde edildiği, geçici

durumun minimum süreye indirilmesi için K_p ve K_i kazanç parametrelerinin kullanılan sistem için en ideal değerlere getirildiğine değinilmiştir.

Kumari ve Swain (2018), yaptıkları çalışmada dört kadranlı doğrayıcı doğru akım (DA) motorun kapalı devre kontrolü için PID kontrolünü ayarlama yöntemi incelemiş, doğru akım (DA) motorun hızının ileri yön hareketinin izlenmesini kontrolcü kullanılarak yapıldığı, bu çalışmanın önemi, lineer kuadratik regülatör kullanılarak PID kontrol cihazının tasarlandığı, kontrolcü parametreleri, tatmin edici aşma ve yerleşme süresi dahilinde elde edildiği, yapılan çalışmada optimal çözüm tabanlı PID ayarının etkinliği, diğer geleneksel PID ayarlama yöntemleriyle karşılaştırmalı simülasyon sonuçlarının karşılaştırıldığı, bu karşılaştırmalı çalışmada, hem zaman alanı hem de frekans alanı analizinde doğru akım (DA) motorun kapalı devre kontrolü için elde edilen etkili ve mümkün olan en iyi sonuçları bulmak için çalışmaların yapıldığı belirtilmiştir.

Yeniaydın ve ark. (2014), yaptıkları çalışmada doğru akım (DA) motor hız kontrolü için referans uyarmalı PID kontrolör tasarımında, sistem parametrelerinin değişmesi, çevresel durumlar, bozucu etkilerin sistem kontrolünü zorlaştırdığı, bu gibi durumlarda en ideal kontrol yönteminin uyarmalı kontrol tekniği olduğu, geçici rejim boyunca sistem çıkışı ile referans modeli arasındaki fark olan takip etme hatasının azaldığı, daha sonra giriş olarak darbe fonksiyonu uygulandığı ve geçici rejim boyunca sistem yanıtında salınımların ve aşımın olduğu, geçici rejimden sonra sistemin arzu edilen çıkışı takip ettiği ayrıca K_p , K_i ve K_d parametrelerinin geçici rejimden sonra zamana göre değişimini gösteren grafik sonuçlarının üzerinde durulmuştur.

Yıldız (2010), yaptığı çalışmada kablosuz haberleşmeyle doğru akım (DA) motor hız kontrolü uygulamasında, RF kontrollü motor kontrolü projesinde gerekli materyallerin kullanılarak, çeşitli testler ve sonuçların elde edildiği, kullanılan DA motorun hız kontrolünü uç gerilimini değiştirilerek yapıldığı, motor uç geriliminin değişiminin ise üretilen iki adet PWM ve buna uygulanan farklı görev periyotları sayesinde yapıldığı, DA motor sürücü devresi olarak transistörlü H-Bridge kullanıldığı, tasarlanan sürücü devresi sayesinde DA motor hız kontrolünün yapıldığı ayrıca DA motorun ters yönde dönmesi ve motor frenlemesinin de yapılabildiği, kontrolör olarak mikrodenetleyicinin kullanıldığı, kablosuz haberleşme için RF alıcı-verici modüllerinin tercih edildiği ve son olarak tasarlanan devrenin günümüzde birçok iş alanında

kullanılmasının faydalarına örnek olarak; iş gücünden, zamandan, az sürede çok işten ve maliyetten tasarruf sağlayacağına değinilmiştir.

Çolak ve Bayındır (2005), yaptıkları çalışmada doğru akım (DA) motorun hız kontrolünün mikrodenetleyici ile yapılmasında, ihtiyaç duyulan PWM (DGM) anahtarlama sinyali için mikrodenetleyiciden farklı bir elemana gerek kalmadan bünyesinde bulunan PWM (DGM) modülünün kullanıldığı, analog referans sinyalin sayısal referans bilgisine dönüştürülebilmesi için ayrı bir analog/sayısal dönüştürücüye ihtiyaç duyulmadan tasarlanan program ile hem PWM sinyalleri üretilmiş hem de analog/sayısal dönüşümün yapıldığı, PI kontrolör için gerekli olan tüm gereksinimleri kullanabilen mikrodenetleyici ile elde edildiği, sistemde analog elemanlar kullanmadığı, kayıplar ve hataların azaltıldığı, mikrodenetleyici kullanılarak üretilmiş ve üretilen PWM sinyalleri bir sürücü devresi yardımıyla DA motoru üzerine uygulandığı, dizayn edilen bu sürme devresindeki DGM sinyali, hemen hemen her güçte yarı iletken anahtarlama elemanlarını sürme ve kontrol edebilme özelliğine sahip olduğu, yüksek frekanslarda yapılacak anahtarlama ile doğru akım (DA) motorun hız kontrolü için daha iyi hassasiyet elde edilebileceği, doğru akım (DA) motor kaynak gerilimi, mikrodenetleyici tarafından üretilen PWM sinyali kullanılarak kontrol edilebilen sürücü devresi giriş gerilimi olarak kullanıldığı, doğru akım (DA) motordan referans gerilim alındıktan sonra değişen yüke bağlı olarak DGM görev periyodunun ayarlandığı, doğru akım (DA) motoru sürücülerinin daha verimli olduğu ve frekansa bağımlı olarak alternatif akım, bakır ve demir kayıplarının oluşmadığı, sistemin kontrolörü olarak PI seçildiği ve MATLAB/Simulink ile elde edilen grafiklere göre doğru akım (DA) motorun PI denetleyicide seçilen parametreler konusunda araştırmacılara ilham verdiği, K_p kazancının yükselme zamanını azalttığı fakat asla yok etmediği, K_i kazancı ise sabit durum hatasının yok edilmesine etki ettiği, fakat daha kötü geçici durumlara neden olduğu, birleştirilip K_p ve K_i değerleri en ideal seçildiğinde ise sistemin kararlılığının arttığı, aşım süresi azaldığı ve geçici tepkinin düzeltilmesine değinilmiştir. Ayrıca sürücü devresi 0,9 kW doğru akım (DA) motor üzerinde denenmiş, uygulama sonuçları tasarlanan sürücü devresine ait kullanılan mevcut analog sürme devrelerine kıyasla basit, kullanışlı, hassas, ekonomik ve farklı tasarımlara hızlıca entegre edilebilir olduğu belirtilmiştir.

Altun ve ark. (2008), yaptıkları çalışmada gerçek dört-bölgeli bir doğru akım (DA) motor sürücüsünün modellenmesi ve tasarımı konusunda yapılan çalışmalarda,

mikrodenetleyici tabanlı kapalı-çevrim dört-bölgeli DA motor sürücü tasarlanıp geliştirildiği, esnek, güvenilir ve verimli bir DA motor sürücü sisteminin düşük maliyet ile gerçekleştirildiği, prototip sürücü sistemi tasarlanmadan önce modellenmiş ve benzetim sonuçları farklı çalışma şartlarının belirlendiği, tasarlanan uygulama devresi ve sürücü düzeneğinden alınan deneysel sonuçlar ile, sistemin dört bölgede de hız kontrolünün gerçekleştirilebildiği ayrıca MATLAB/Simulink ile simülasyon çıktıları karıştırıldığında benzer sonuçların elde edildiği, DA motor transfer fonksiyonuna parametreler girilerek modellemenin gerçekleştirildiği, sistem kontrolü olarak PI kontrolörün seçildiği, DA motor sürücü devresi için H-Bridge kullanıldığı ayrıca mikrodenetleyici ile üretilen PWM farklı görev periyotları uygulanarak DA motor hız kontrolünün üzerinde durulmuştur.

Çepni (2010), yaptığı çalışmada lineer servo motor ve kontrolü için yapılan tasarım uygulamasında öncelik olarak bulunan lineer motor sistemlerinin çalışma ilkesine, kullanım yerlerine değinilmiş ve lineer motorun diğer lineer hareket sistemlerine üstünlüklerin incelendiği, bu zamana kadar tasarlanan lineer motorların dezavantajları yönlerinden yola çıkılarak yeni bir lineer motor tasarım süreci ve kullanılmakta olan lineer motoru üstün yapan özellikleri, hedeflenen performans değerleri, teorisi ve manyetik benzetim konularına değinilmiştir.

Farklılıklarıyla ön plana çıkan lineer motorun sürücüsü de klasik yaklaşımın dışında olması gerektiği, sonraki bölümlerde lineer motor sürücüsü, çalışma ilkesi ve benzetim (simülasyon) sonuçlarına değinilmiştir. Sürücüyü oluşturan DC/DC dönüştürücü, H-Bridge, encoder, DSP gibi donanımsal yapıların ayrıntılı bir biçimde üzerinde durulmuştur.

Yapılan çalışmaların bütün aşamalarında, denenen yöntem ve donanımsal yapıların teorilerinden bahsedilmiş, kullanılan sistemlerin birbirine üstünlükleri kıyaslamalı olarak açıklanmıştır. Sürücü bloklarının çalışması, benzetim (simülasyon) sonuçlarıyla desteklenmiş ayrıca program sonuçları hatalı yönlerinin üzerinde durulmuştur. Çalışma boyunca MATLAB/Simulink programı başta olmak üzere birçok benzetim programıyla çalışılmıştır. Sürücü tasarımı yapımı aşamasında bir yandan da sürücü yazılımı hazırlanmış sonraki adımda MATLAB/Simulink benzetim programında hazırlanan sürücü yazılımından algoritmasını kadar çalışma prensibine değinilmiştir. Sürücü çalışır faaliyete getirildikten sonra sistemin matematiksel modeli çıkartılarak, açık

çevrim çalışma karakteristiği, durum değişkenleri ve ayırık kontrolcü tasarımı için sistem modeli tasarlanmıştır. Hız ve konum çıkışlarının ideal seviyedeki kontrolü için P, PD, PI, ve PID ayırık kontrolcülerini tasarlanmış, bu aşamada tasarlanan kontrolcüler ile yapılan matematiksel eşitliklerle ifade edilmiş ve grafiksel sonuçlarla desteklendiği görülmüştür. Çalışmanın sonunda ise elde edilen sonuçlar doğrultusunda uygulamada kullanılan motor performansı için hedeflenen değerler ile elde edilen sonuçlar kıyaslanmış, farklılıkların nedeni izah edilmiş, sürücü çalışması, osiloskoptan elde edilen görüntülerle anlatıldığı görülmüştür.

Albayrak ve ark. (2015), yaptıkları çalışmada android cihazlar ile DC motor kontrolü uygulamasında android işletim sistemine sahip elektronik cihazların (mobil, tablet vb.) bluetooth 2.0 haberleşme teknolojisi sayesinde doğru akım (DA) motorlarında devir ve yön kontrolü üzerinde durulduğu, bu kontrolün kablosuz haberleşmeyle yapıldığı, kablosuz haberleşme RF (Radyo Frekansı) modülü yardımıyla da tasarlanabildiği böylece android cihazların günümüzde teknolojinin ilerlemesiyle çok yaygın olarak kullanıldığı ve bu çalışmaya yön verdiği, bluetooth haberleşmenin dezavantajı ise RF haberleşme kadar uzak mesafeleri desteklemediği, RF haberleşmenin dezavantajı ise güvenlik yönünden savunmasız olduğu, bu yüzden android cihaz ile tasarlanan sistem arasında bluetooth bağlantısı kurmak için eşleştirme parolası adı verilen şifrelerin kullanıcılar tarafından bilinmesi ve kullanılması gerektiği üzerinde durulmuştur.

Bu çalışmada ayrıca elektronik cihazlarla çevremizdeki cihazlara çok hızlı bir şekilde bağlanıp, cihazların kontrolü ve ayarlamalarının yapılabileceği, yakınımızda bulunan elektronik cihazların üzerlerinde bir kontrol ünitesi olmadan daha hızlı ve uzaktan kablosuz olarak kontrol etmemizi sağladığı, bununda kontrol edilmek istenen sisteme kolaylıklar getirdiği ve bu sistemin endüstriyel uygulamaları olduğu gibi, akıllı ev ve tarım alanlarında kullanılma özelliklerine sahip olduğuna değinilmiştir.

Soysal (2010), yaptığı çalışmada doğru akım motorunun dört bölge kontrolünün PIC ile gerçekleştirilmesi hakkındaki bu uygulamada PWM (DGM) yardımıyla bir doğru akım (DA) motorun hız kontrolü mikrodenetleyici tabanlı kontrol edildiği, doğru akım (DA) motorun dört bölgede çalışması için H-Bridge devresi kullanıldığı, tasarlanan sistemde motorun dört bölgede çalışması ve kontrolü için çalışmaların yapıldığı, serbest uyarımlı doğru akım (DA) motorunu sürmek için hazırlanan H-Bridge devresinde 400

V, 150 A' lik IGBT'lerin kullanıldığı, ve bu yarı iletken anahtarları da sürmek için ayrı bir sürücü devresi kullanıldığı, tasarımda ihtiyaç duyulan 4 adet yarı iletken anahtarlama elemanları tek tek mikrodnetleyici tarafından farklı şekilde PWM (DGM) çıkışlarına bağlandığı ve doğru akım (DA) motorun ileri, geri, ileri yön fren ve geri yön fren gibi 4 bölge motor çalışmaları üzerinde durulduğu belirtilmiştir.

H-Bridge sürücü devresinde yarı iletken anahtarlama elemanları olarak kullanılan IGBT'ler 20 kHz gibi yüksek bir anahtarlama frekansıyla anahtarlama tasarlanan sistemin hassasiyetini arttırdığı, PIC18F4520'nin H-Bridge sürme devresinin çalışma şeklinden dolayı ayrı belleklerin bulunduğu, diğer mikrodnetleyicilerde (PIC16F877, PIC18F452) olduğu gibi 2 adet PWM (DGM) çıkışı yerine, 4 adet PWM (DGM) çıkışların olduğu, bu çıkışların H-Bridge yönteminde 4 farklı PWM (DGM) elde etmek için kullanıldığı, uygulamada kullanılan 4 adet yarı iletken anahtarlama elemanlarının (IGBT) her biri ayrı ayrı mikrodnetleyicinin farklı PWM (DGM) çıkışlarına bağlanarak doğru akım (DA) motorun ileri, geri, ileri yön fren ve geri yön fren işlemlerinde otomatik olarak ayarlandığı ve ölü bant gecikmesinin ortadan kaldırıldığı belirtilmiştir.

Bu sayede doğru akım (DA) motorunun sistem içinde hızlı değişikliklere karşı daha çabuk cevap vermesini sağladığı, ölü bant gecikmesinin yok edilmesiyle doğru akım (DA) motorun sistem içerisindeki hızlı değişimlere daha hızlı cevap verdiği, PWM (DGM) kontrollü yarı iletken anahtarlama konumunda çalıştırılmış ve bu uygulamada kullanılan yarı iletken anahtarların iletme ve kesime geçmesi, tam yük akımı altında meydana geldiği, IGBT'lerin iletim ve kesimleri anında yarı iletken anahtarların büyük açma-kapama gerilimlerine maruz kaldığı, H-Bridge sürücü devresinde kullanılan IGBT'lerin bu denli büyük gerilimlere karşı dayanıklı olduğu, aynı zamanda yarı iletken anahtarlama elemanlarında, PWM (DGM) frekansında doğrusal olarak artan bir güç kaybının yaşandığı, anahtarlama gerektiren çalışmalarının bir diğer olumsuz yanı ise, anahtarlama esnasında oluşan büyük di/dt ve dv/dt sebebiyle çok yüksek elektromanyetik etkinin (EMI) ortaya çıktığı, uygulamada bu sıkıntıların çözülmesi için filtre devresinin tasarlandığı, doğru akım (DA) motorunun dört bölge kontrolü için, P, PI, PID kontrolörlerin kullanıldığı ayrıca alternatörlerin devreye paralel bağlanması ve doğru akım (DA) motorunun generatör olarak da çalıştırılmasının mümkün olabileceğine değinilmiştir.

Hataş (2018), yaptığı çalışmada H-Bridge Sürücü Tabanlı Motor Hız Kontrolü ve Uygulaması hakkındaki bu projede kullanım alanlarına göre doğru akım (DA) motorlarının farklı güçlere sahip olduğu, özellikle 12 V ve altındaki gerilimlerde çalışan düşük güçlerdeki doğru akım (DA) motorları için hız ve yön kontrolünü sağlayacak kontrol sürücü devrelerinin yaygın olarak kullanıldığı, fakat yüksek gerilim ve akımla çalışan doğru akım (DA) motorların hız ve yön kontrolü için kullanılacak motorların sisteme özgü tasarım gerektirdiği, ve bu tasarımların yaygın olarak bulunmadığı, bu sebepten dolayı H-Bridge sürücü devresinin çok önemli olduğu, doğru akım (DA) motorunun nominal gerilimine ve çekeceği maksimum akıma göre yarı iletken anahtarlama elemanları olan MOSFET veya IGBT, H-Bridge sürücü devre tasarımında istenilen güçteki doğru akım (DA) motorları sürmede ve kontrol etmede bu yarı iletken anahtarlama elemanlarının kullanıldığı belirtilmiştir.

Ayrıca çalışma kapsamında FPGA mimarisini diğerlerinden ayıran en önemli özelliği paralel işlem yapma özelliğine değinildiği, uzun hesaplamalar gerektiren sistemlerde kullanıldığı, diğer mimarilere göre çok daha hızlı işlem yapabildiği, bu işlemler için döngüsel olarak beklemediği için hızlı cevap alınması istenen sistemlerde FPGA kullanmak en iyi tercih olacağı, FPGA mimarisinin dili olan VHDL'in yazımının çok zor olduğu, basit bir işlem için yüzlerce satır kod gerektirebildiği, XSG, MATLAB/Simulink üzerinden işlemleri görselleştirerek zamandan tasarruf sağladığı, VHDL dilinde MATLAB fonksiyon kodunda bulunmayan bazı özel komutların bulunduğu, MATLAB/Simulink üzerinde olmayan bazı bloklar, Black Box bloğu kullanılarak VHDL olarak yazıldığı, bu çalışmada MATLAB fonksiyon kodu ile Mcode bloğu oluşturularak istenilen işlemler FPGA kartında oluşturulduğu, hem MATLAB fonksiyon kodu kullanımı hem de VHDL kodunun kullanılması ciddi oranda kolaylık sağladığı için XSG FPGA kullanımı açısından son derece önemli olduğu üzerinde durulmuştur.

Yapılan literatür araştırmalarında doğru akım (DA) motorlarının hız kontrolünde kayan kip kontrol yöntemi ile PI kontrol yönteminin kullanımının yaygın olduğu, kayan kip kontrol yönteminde referans hızın takip edilmesinde dinamik tepkilerin daha hızlı verildiği, bu sebepten dolayı referans hıza oturma süresinin kısa olduğu fakat doğru akım (DA) motorda tırlama etkisi meydana getirdiği, PI kontrolcünün dinamik tepkisinin kayan kip yöntemine göre daha yavaş olduğuna değinilmiştir.

Bu uygulamalı çalışma doğrultusunda FPGA ile doğru akım (DA) motoru hız kontrolünün PI ve kayan kip kontrolcü yöntemleriyle yapılması ve bu çalışmada kazanılacak bilgi ve sonuçların ileriki çalışmaların temelini oluşturması ve gerçekleştirilen kontrol yöntemlerinin başka sistemlere uygulanması hedeflendiği belirtilmiştir.

Çalışma kapsamında yapılan simülasyon (benzetim) ve deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar %90 oranında aynı olduğu, bu sonuçların %100 oranında örtüşmemesi simülasyon (benzetim) programında her elemanın ideal olarak çalışıyor olması, gerçek uygulamalı deneysel çalışmada kullanılan H-Bridge sürücü devresinin sinyalleri belli bir gecikme ile iletmesi, hız ölçer ve yarı iletken anahtarlama elemanları olan MOSFET'lerin iletme ve kesime girme sırasında meydana gelen kayıplardan kaynaklandığına değinilmiştir.

FPGA kartının giriş ve çıkış portlarının kullanımında yalıtım yapmak büyük öneme sahip olduğu, yalıtım yapılmadığı durumda giriş ve çıkış portlarından aşırı akım geçme riskinin olduğu, böyle bir durumda portların yanabileceği veya FPGA bir daha kullanılmaz hale gelebileceği, bu çalışmada yalıtım için 6N137 entegresi kullanıldığı, giriş ve çıkış portlarına gelen sinyallerin beslemesi yine FPGA ile yapılarak tehlikenin bu şekilde ortadan kaldırıldığı, uygulamada kullanılan H-Bridge devresindeki yarı iletken anahtarlama elemanları olan MOSFET'lerin iletim kayıpları ve iç dirençten kaynaklanan ısınma problemi ortaya çıktığı, sıcaklığın MOSFET'lere zarar verecek seviyeye gelmemesi için ısı hesabı yapılarak yarı iletken anahtarlama elemanları olan MOSFET'lerin zarar görmemesi ve tasarlanan sistemin sağlıklı çalışabilmesi için H-Bridge sürücü devresine soğutucu eklendiği belirtilmiştir.

Bu çalışmada H-Bridge sürücü devre tabanlı sürekli mıknatıslı doğru akım (DA) motoru hız kontrolü için PI ve kayan kipli kontrol yönteminin kullanıldığı, yapılan çalışmada elde edilen simülasyon (benzetim) sonuçları birbirleri ile karşılaştırıldığında kayan kip kontrol yönteminde referans hızın takip edilmesinde kontrolcü tepkisinin geçici durumlarda daha hızlı olduğu fakat motor hızında tırlama etkisinin meydana geldiği, PI kontrolcünün dinamik tepkisinin kayan kip yöntemine göre daha yavaş olduğu ve tırlama etkisinin olmadığı, teknolojinin hızla geliştiği günümüzde bu iki kontrol yöntemleri üzerinde olası yapılacak çalışmalarda söz konusu sistemlere ait avantajlı yönlerinin kullanılacağı, dezavantajlı yönlerinin ise minimum seviyede tutulacağı yeni bir kontrol

yönteminin geliştirilebileceği böylece tamamen hatalardan arındırılmış yüksek performans, düşük maliyet ve kolay kontrol edilebilme gibi bir sistem için olması gereken unsurlarla birlikte sıfıra yakın hatayla çalışabilen bir sistem tasarlamaya yapılan çalışmaların katkı sağlayacağına değinilmiştir.



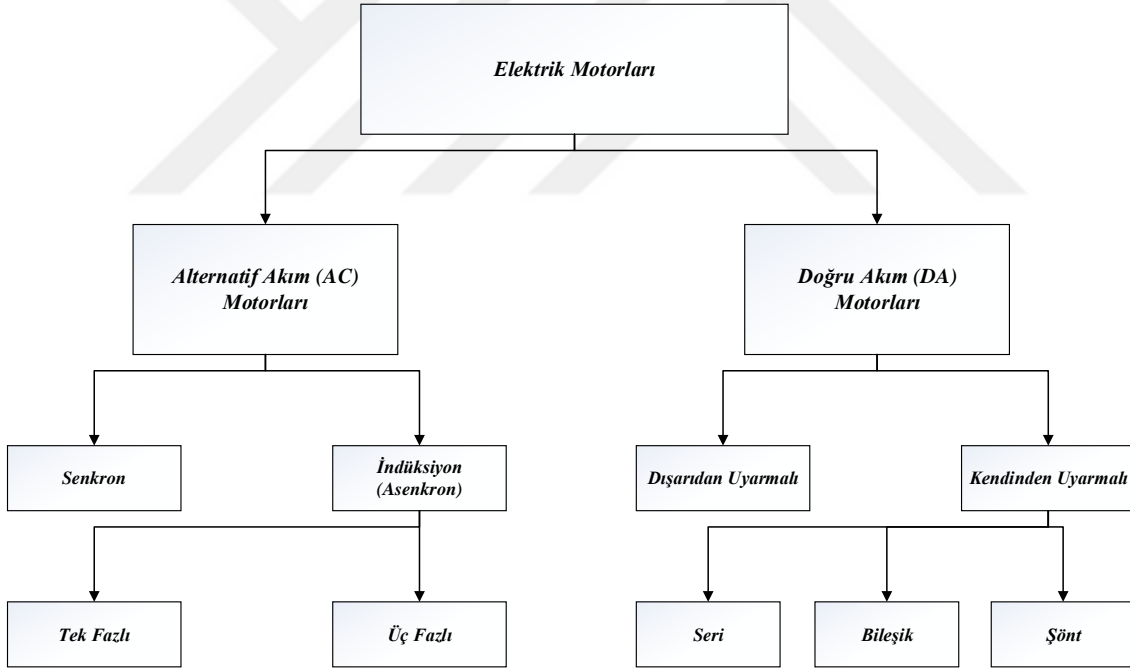


3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, android uygulamayla doğru akım (DA) motorun PI hız kontrolünün PIC ile gerçekleştirilmesi konulu uygulamanın tasarımı planlanmıştır. Söz konusu sistemin transfer fonksiyonu MATLAB/Simulink ile elde edilerek projenin simülasyonları (benzetim) yapılmıştır. Son olarak tasarlanan devrenin android destekli bir cihaz yardımı ile uzaktan kablosuz olarak kontrol grafikleri çizdirilerek elde edilen sonuçların simülasyon (benzetim) çıktılarıyla karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir.

3.1. Doğru Akım (DA) Elektrik Motorları

Doğru akım (DA) elektrik motorlarının aşağıda Şekil 3.1.'de verildiği gibi farklı tipleri bulunmaktadır.



Şekil 3.1. Elektrikli motor çeşitleri.

Alan Kutupları:

- Basit bir doğru akım (DA) motorunda kuzey ve güney kutuplarını oluşturan bir çift mıknatıs içerir.
- DA motor manyetik alan oluşturmak için elektrik akımını kullanır.

Armatür:

- Kutuplar arasındaki silindire benzer kısımdır.
- Akım geçerken elektromıknatıs oluşur.
- Motor çıkış miline bağlanmaktadır.

Komütatör:

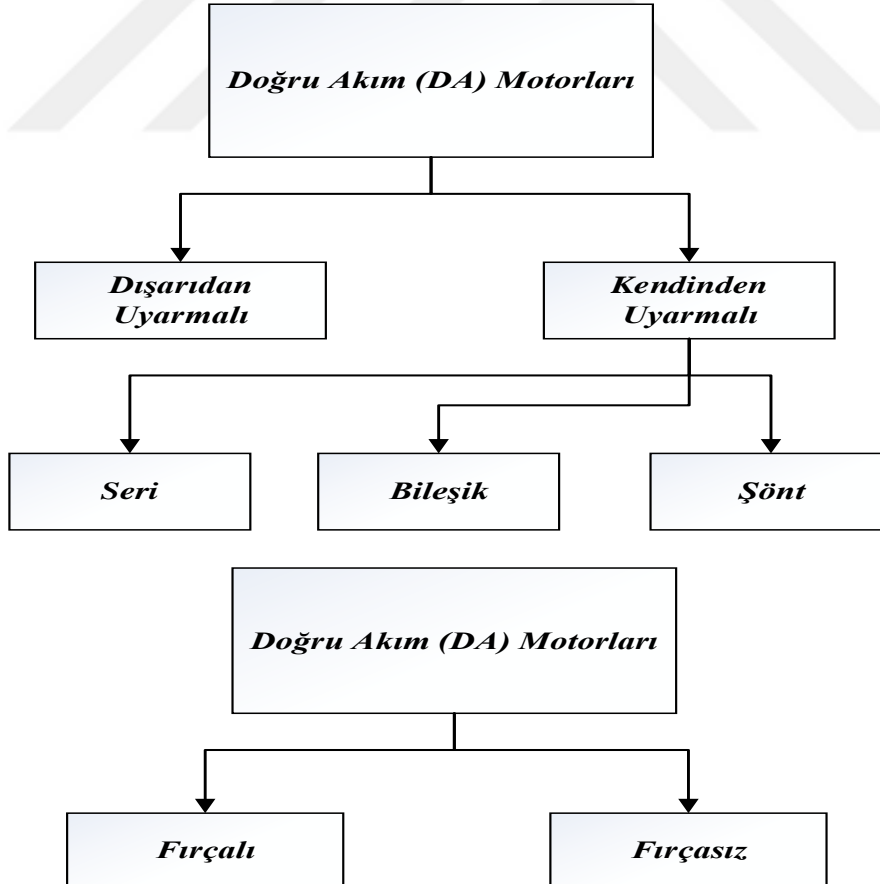
- Armatürdeki akım yönünü değiştirmek için kullanılır.

Hız kontrolü:

- Armatür gerilimi değiştirilerek yapılabilir.
- Alan akımı değiştirilerek yapılır.

Sınırlı kullanım:

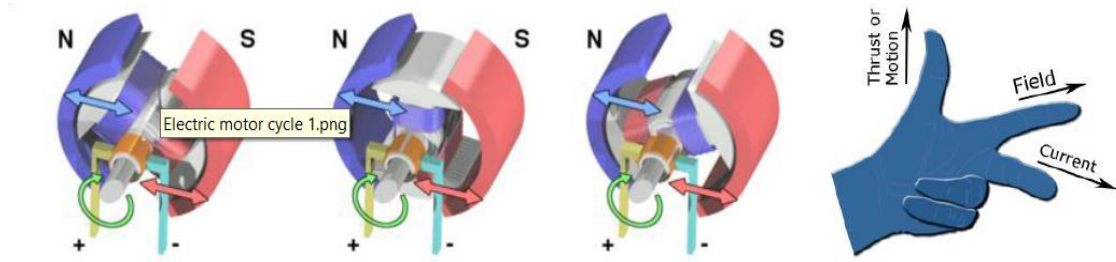
- Tasarımlarda gereksinim duyulan düşük ve orta hız uygulamalarında kullanılır.
- Temiz, güvenli ve kontrol edilebilir koşullarda kullanılırlar.
- DA motorlar AA motorlara göre pahalıdır.
- Şekil 3.2.'de Doğru akım (DA) elektrik motorların tasarım şekilleri verilmiştir.



Şekil 3.2. Doğru akım (DA) elektrik motorların tasarım şekilleri.

Fırçalı Doğru Akım (DA) Motorları

Şekil 3.3.'te demir nüveli bir bobinden elektrik akımı iletildiğinde, rotorun bir kutbu statorun N kutbu tarafından itilirken, diğer kutbu ise S kutbu tarafından çekilecektir. Fleming'in sol el kuralı doğrultusunda, bu durum rotorda bir dönme etkisi meydana getirir. Bu hareketin yönünü sabit tutmak ve hızın sürekliliği için motor komütatörleri akım yönünü iki kutuplu bir doğru akım (DA) motorunda her yarım turda tersine çevirerek uygular.



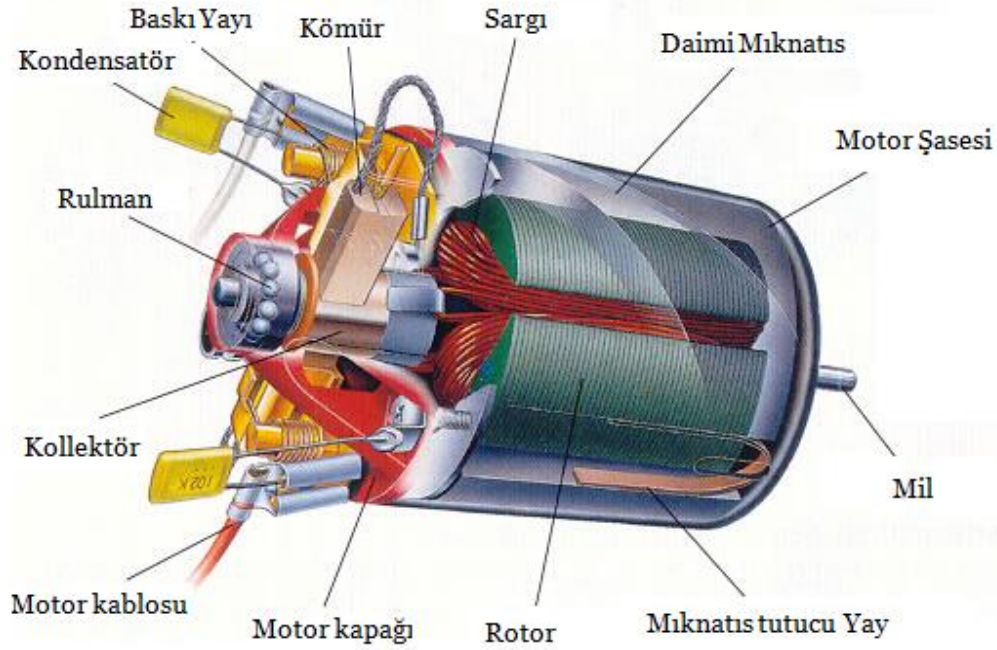
Şekil 3.3. Doğru akım (DA) elektrik motorlarında demir nüveli bir bobinden elektrik akımı geçirildiğinde oluşan manyetik alan ve Fleming'in sol el kuralı.

Fırçasız Doğru Akım Motorları

DA motorlarda rotor kısmı sabit mıknatıslardan meydana gelmekte olup dolayısıyla da fırçalar bulunmamaktadır. Sürtünme ve ark kayıpları olmadığı için verimleri oldukça yüksektir. Motorda bulunan rotorun direkt olarak dönmesi istenilen yere bağlanması sonucunda aktarmadan oluşan kayıplar da engellenerek DA motorun toplam kayıpları azaltılmıştır. DA motor içerisinde bulunan stator kısmının üzerine dönebilecek şekilde rotor kısmına bağlanır. DA motor kısımları üretilirken stator oluk sayısı rotorun mıknatıs sayısı ile belirli sayıda tutularak tasarlanmaktadır.

3.1.1. Sürekli mıknatıslı doğru akım (DA) motoru

Sürekli mıknatıslı fırçalı doğru akım (DA) motorun statorunda mıknatıslar bulunmaktadır. Böyle tasarlanan motorlarda da sürekli mıknatıslar manyetik alanı meydana getirirler. Sürekli mıknatıslı doğru akım (DA) motorun iç yapısı Şekil 3.4.'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Sürekli mıknatıslı doğru akım (DA) motorun iç yapısı.

Sürekli mıknatıslı fırçalı DA motorların uygulamada kullanım avantajları

- Statorunda mıknatıslar bulunduğu için, statorda bakır kaybı oluşmaz,
- Motor Kontrolü, konvansiyonel doğru akım (DA) motorlarının kontrolünde olduğu gibi kolaydır.
- Küçük güçlü ve düşük devir sayısı gerektiren uygulama alanlarında tercih edilir.
- Verimleri konvansiyonel doğru akım (DA) motorlarına göre oldukça yüksektir.

Çizelge 3.1. Uygulamada kullanılan doğru akım (DA) enkoder motorun temel parametreleri.

<i>Parametreler</i>	<i>Değerler</i>	<i>Birim</i>
Voltage	12	Volt (V)
No-load current	0.15	Akım (A)
No-load speed	10200	RPM
Stall current	5.6	Akım (A)
Power	67.2	Watt (W)

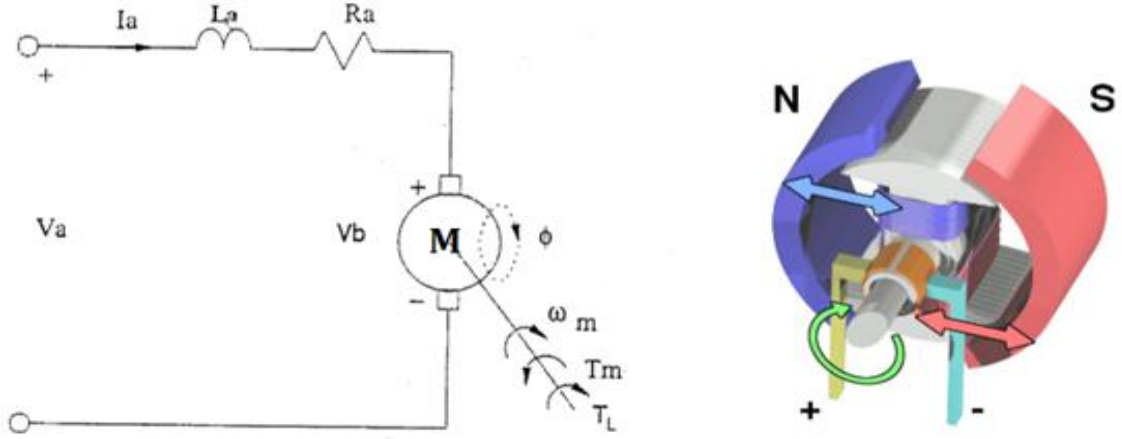
Sürekli mıknatıslı doğru akım (DA) enkoder motorun bazı parametreleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir. Doğru akım (DA) enkoder motor Şekil 3.5.'te gösterilmiştir. Proje kapsamında yapılan çalışmalarda kullanılan bu motorun ideal çalışma şartlarında hız kontrolü uygulamalı olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.5. Uygulamada kullanılan sürekli mıknatıslı doğru akım (DA) enkoder motor.

3.1.2. Sürekli mıknatıslı doğru akım (DA) motorun matematiksel modeli

Sürekli mıknatıslı doğru akım (DA) motorları üç tane basit elektriksel elemanın seri bağlanması ile modellenenir. Sürekli mıknatıslı fırçalı doğru akım (DA) motorun eşdeğer devresi Şekil 3.6'da gösterilmektedir. Doğru akım (DA) motorun matematiksel modeli “Eş. 3.1” den “Eş. 3.14” e kadar verilen eşitliklerle elde edilmiştir.



Şekil 3.6. Sürekli mıknatıslı doğru akım (DA) motorun matematiksel modeli.

Eş-değer devrede Kirchoff kanununa göre;

$E_a = V_b$ ve $\omega_m = \omega$ eşitlikleri için;

$$V_a = I_a.R_a + L.\frac{dI_a}{dt} + V_b \quad (3.1)$$

Kararlı durumda indüklenen e.m.k.;

$$E_a = V_b = k_b.\omega_m = K_v.\Phi.\omega_m \quad (3.2)$$

$$k_b = K_v.\Phi \quad (3.3)$$

$$\omega_m = \frac{V_a - I_a.R_a}{K_v.\Phi} \quad (3.4)$$

$$T_m = k_t.\Phi.I_a \quad (3.5)$$

$$n = \frac{60.\omega}{2.\pi} \quad (3.6)$$

$$\omega_m = \frac{V_b}{K_v.\Phi} = \frac{V_a - I_a.R_a}{K_v.\Phi} \quad (3.7)$$

Motorun bakır kayıpları ihmal edilirse, motorun elektriksel çıkış gücü;

$$P_e = E_a.I_a = \omega_m.T_m \quad (3.8)$$

olarak bulunur.

$$T_j = J \cdot \frac{d\omega_m}{dt} \quad (3.9)$$

$$T_e = T_m = K_t \cdot I_a \quad (3.10)$$

$$T_\omega = B \cdot \omega_m \quad (3.11)$$

$$T_d = T_L \quad (3.12)$$

Burada J , rotor ataletidir. K_t : moment katsayısıdır. B : viskoz sürtünme katsayısıdır, birimi N.m/rad/s'dir. Sistemde enerji dengesini sağlamak için, motor momentlerinin toplamının sıfır olması gerekmektedir. Bu durumda;

$$T_e - T_j - T_L - T_\omega = 0 \quad (3.13)$$

$$K_t \cdot I_a - J \cdot \frac{d\omega_m}{dt} - T_L - B \cdot \omega_m = 0 \quad (3.14)$$

Sistem için verilen parametrelerin açıklamaları aşağıda verilmiştir.

V_a : Endüvi gerilimi, V

R_a : Endüvi devresinin direnci, Ω ;

L_a : Endüvi devresinin endüktansı, H;

E_a : Zıt e.m.k. gerilimi, V

K_v : gerilim katsayısı, V/A-rad/s;

P_e : Motorun elektriksel gücü, W

ω : Motor açısal hızı, ya da rotor açısal frekansı, rad/s;

T_e : Elektromanyetik moment, N.m

T_ω : Sürtünme momenti, N.m

T_j : Atalet momenti, N.m

T_L : Yük momenti, N.m

3.1.3. Sürekli mıknatıslı doğru akım (DA) motorun transfer fonksiyonu

Elektriksel ve mekaniksel kısımlardan elde edilen eşitliklerle sistem için bir blok diyagramı oluşturulabilir. Her bir eşitlik için Laplace dönüşümü uygulanırsa;

$$s ia(s) - ia(0) = - Ra La ia(s) - Kv La \omega + 1 La Va(s) \quad (3.15)$$

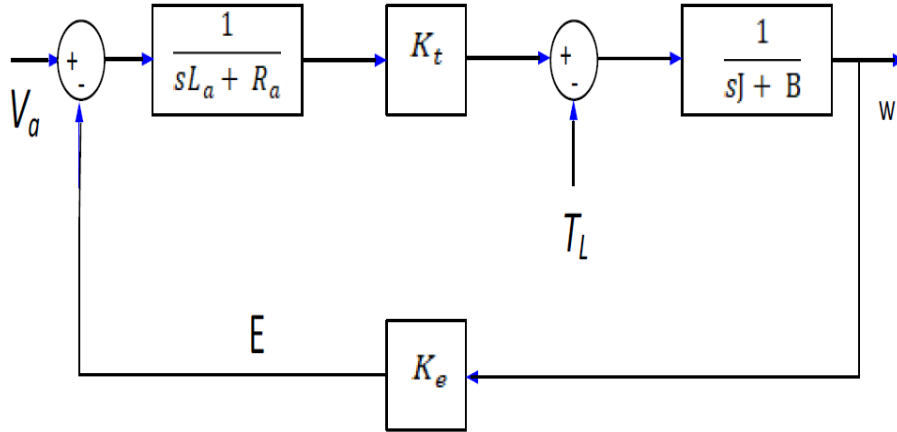
$$s \omega(s) - \omega(0) = Kt J ia(s) - BJ \omega(s) - 1 J TL(s) \quad (3.16)$$

Burada; $ia(0)$: akımın başlangıç değeridir. $\omega(0)$: hızın başlangıç değeridir. Başlangıç koşulları sıfır kabul edilirse, akım ve hız eşitlikleri aşağıda verildiği gibi olur.

$$\dot{I}a(s) = - \frac{Kv \omega(s) + Va(s)}{Las + Ra} \quad (3.17)$$

$$\omega(s) = \frac{Kv ia(s) - TL(s)}{Js + B} \quad (3.18)$$

Yukarıdaki eşitlikler yardımıyla sürekli mıknatıslı fırçalı doğru akım (DA) motorun blok diyagramı Şekil 3.7'de (Hataş, 2018) gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Sürekli mıknatıslı doğru akım (DA) motorun transfer fonksiyonu.

Kapalı Çevrim Transfer Fonksiyonuna T_s diye adlandıırırsak;

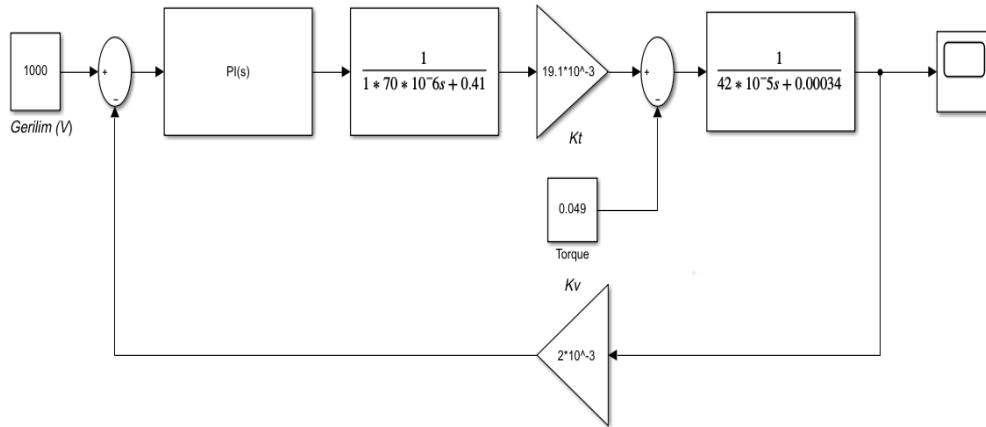
$$T_s = \frac{Kt/(La.J)}{S^2 + s\left(\frac{Ra}{La} + \frac{B}{J}\right) + \frac{Ra.B + Ke^2}{La.J}} \quad \text{denklemler elde edilir.} \quad (3.19)$$

Şekil 3.8'de uygulamada kullanılan doğru akım (DA) enkoder motorun Çizelge 3.2.'deki parametre değerlerine göre MATLAB/Simulink ile elde edilmiş motorun blok

diyagramı ve transfer fonksiyonu verilmiştir. Doğru akım (DA) motorun transfer fonksiyonu “Eş. 3.15” ten “Eş. 3.19” a kadar verilen eşitliklerle elde edilmiştir.

Çizelge 3.2. Uygulamada kullanılan doğru akım (DA) enkoder motorun transfer fonksiyon parametreleri.

<i>Parametreler</i>	<i>Değerler</i>	<i>Birim</i>
Endüvi endüktansı	7×10^{-6}	Henry (H)
Endüvi direnci	0.41	(Ohm (Ω))
Rotor ataleti (J)	42×10^{-5}	N.m ²
Viskoz sürtünme katsayısı (B)	0.00034	N.m/rad/s
Moment katsayısı (K_t)	0.0191	N.m/A
Gerilim katsayısı (K_v)	0.02	V/A-rad/s
Sürtünme momenti	0.049	N.m

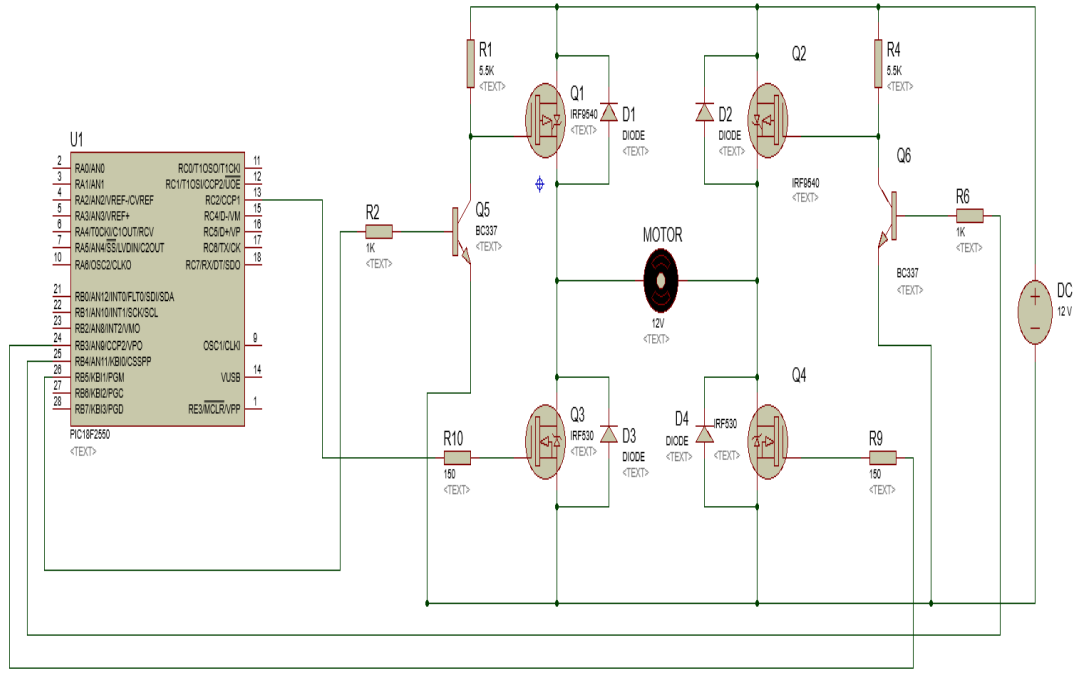


Şekil 3.8. Uygulamada kullanılan doğru akım (DA) enkoder motorun parametreleri girilerek elde edilmiş MATLAB/Simulink transfer fonksiyonu.

3.2. Sürekli Mıknatıslı Doğru Akım (DA) Motor Sürücüsü

3.2.1. H-Bridge devresi

Şekil 3.9’da gösterilen H-Bridge devresi olarak tasarlanan, bir yükte devre üzerine bağlanan tek bir gerilim kaynağı kullanılarak pozitif ve negatif bir gerilimin üzerinde indüklenmesini sağlayan çok önemli bir güç elektroniği devresidir. H-Bridge devresi doğru akım (DA) motorları sürmek için kullanılır.



Şekil 3.9. Uygulamada kullanılan H-Bridge sürücü devresinin Proteus çizimi.

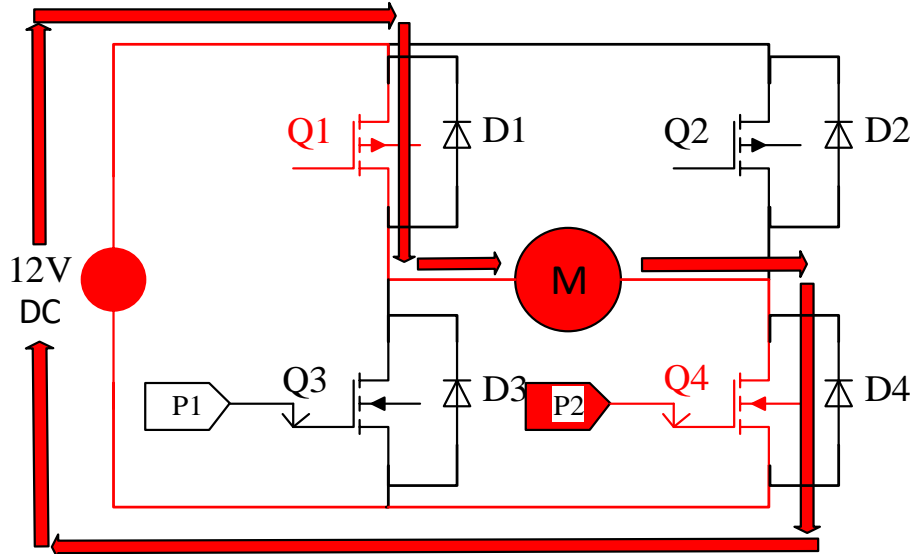
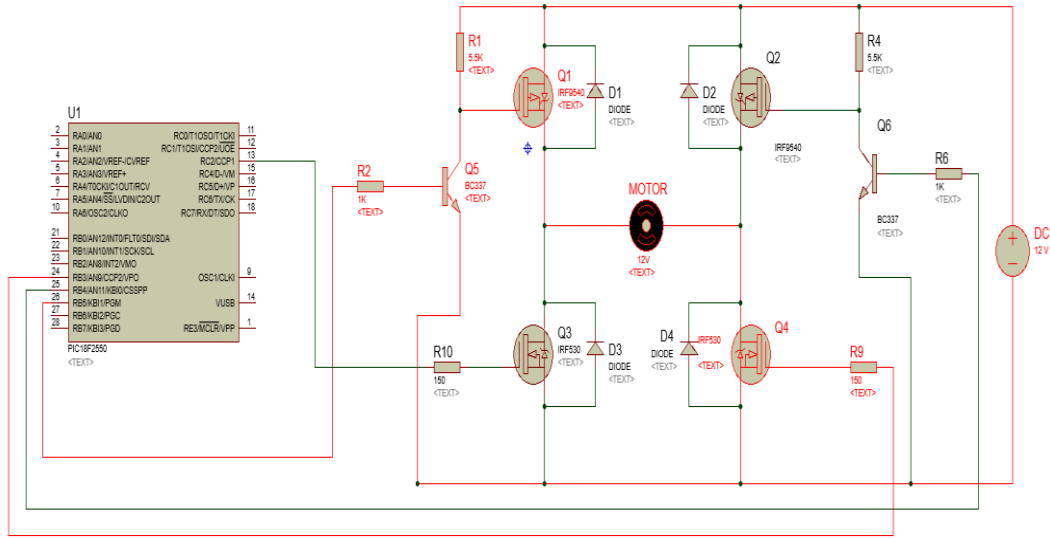
Şekilde 3.9.'da verilen H-Bridge motor sürücü devresinde 2 adet IRF9540 P kanal ve 2 adet IRF530 N kanal mosfet kullanılmıştır. Ayrıca devrede 2 adet PNP ve 2 adet NPN transistör kullanılmıştır. Bu devrede $Q1 = 1$, $Q4 = 1$, $Q2 = 0$ ve $Q3 = 0$ yapıldığında motor ileri yönde dönmeye başlayacaktır. Ters durumda, $Q1 = 0$, $Q4 = 0$, $Q2 = 1$ ve $Q3 = 1$ yapıldığında ise motor ters yönde dönecektir. $Q1 = 0$, $Q4 = 0$, $Q2 = 0$ ve $Q3 = 0$ durumlarında ise motor durmaya başlayacaktır.

$Q1 = 1$, $Q4 = 0$, $Q2 = 0$ ve $Q3 = 1$ ve $Q1 = 0$, $Q4 = 1$, $Q2 = 1$ ve $Q3 = 0$ durumlarında ise 12V ve toprak kısa devre olduklarından böyle bir durum devre için çok sakıncalıdır. H-Bridge doğru akım (DA) motor sürme yöntemi kullanılırken hiçbir şekilde bu iki durumun oluşmamasına çok dikkat edilmelidir.

Doğru akım (DA) motorda açma ve kapama anlarında indüklenecek gerilim çoğu zaman besleme geriliminin bile üzerine çıkabileceğinden böyle bir durumda kullanılan mosfetlerin üzerinden ters yönde akım geçecek ve yarı iletken anahtarlama elemanları olarak kullanılan mosfetler yanacaktır. Şekil 3.10.'da gösterildiği gibi mosfetlerin, iletim ve kesim esnasında doğru akım (DA) motorda meydana gelecek yüksek gerilimden korumak için koruma diyotları bağlanmıştır.

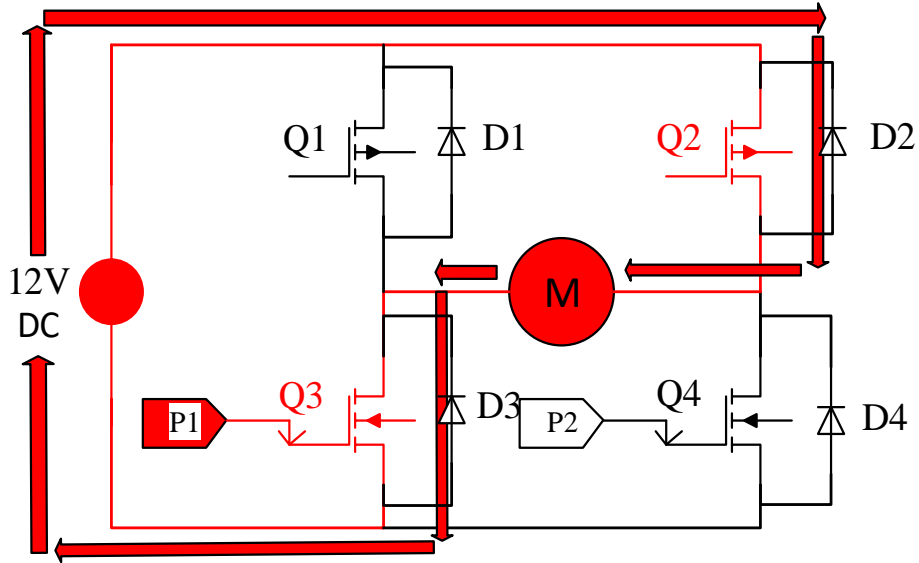
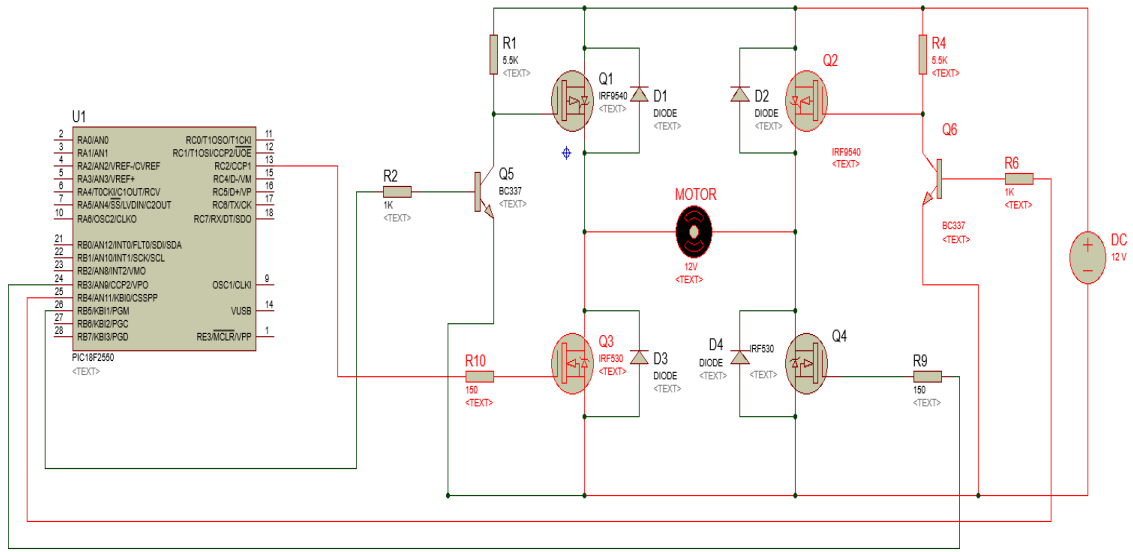
Çizelge 3.3. H-Bridge sürücü devresinde kullanılan mosfetlerin anahtarlama şekilleri.

$Q1$	$Q2$	$Q3$	$Q4$	Fonksiyon
1	0	0	1	İleri yönde
0	1	1	0	Geri yönde
0	0	0	0	Durma
1	0	1	0	Kısa devre
0	1	0	1	Kısa devre



Şekil 3.10. İleri yönde H-Bridge motor sürücü devresinin Proteus ve Microsoft Visio çizimleri.

Şekil 3.10.'da verilen ileri yönde H-Bridge motor sürücü devresi için Q1 P kanal ve Q4 N kanal mosfet'leri iletimde, Q2 P kanal ve Q3 N kanal mosfet'leri kesimdedir (Şekil 3.11.). Q1 ve Q4 birlikte iletime geçtikleri zaman, 12V kaynak gerilimi motor uçlarında görülür ve endüvi akımı buna bağlı olarak artarak doğru akım (DA) motorun ileri yönde dönmesini sağlar. Doğru akım (DA) motorunun ileri yönde dönmesini sağlayan Q1 P kanal ve Q4 N kanal mosfetleri sürmek 12V gerilim kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yüzden bu mosfetler mikrodenetleyici olarak kullanılan (PIC-18F2550) çıkışından değil de direk 12V gerilim kaynağı çıkışından sürülmüştür.



Şekil 3.11. Ters yönde H-Bridge motor sürücü devresinin Proteus ve Microsoft Visio çizimleri.

Şekil 3.11.'de verilen ters yönde H-Bridge motor sürücü devresi için Q1 P kanal ve Q4 N kanal mosfetleri kesimde, Q2 P kanal ve Q3 N kanal mosfetleri ilettime geçmiştir (Şekil 3.11). Q2 P kanal ve Q3 N kanal yarı iletken anahtarlama elemanları birlikte ilettime geçtikleri zaman, 12V kaynak gerilimi motor uçlarında ters yönde görülür ve endüvi akımı buna bağlı olarak artarak doğru akım (DA) motorun ters yönde dönmesini sağlar.

H-Bridge motor sürücü devresinde 2 adet IRF9540 P kanal ve 2 adet IRF530 N kanal mosfet kullanılmıştır. Mosfetlerin giriş empedansı yüksek, elektrodaları arasında iç kapasitansları ise çok azdır. Mosfet transistörler, JFET transistörlerden ve normal transistörlerden daha yüksek frekanslarda çalışabilmektedir. Mosfet transistörlerin güç harcamaları düşüktür ve diğer yarı iletken anahtarlama elemanlarına (BJT ve JFET) göre mekanik dayanımları daha fazladır. Mosfetler kanal bölgelerinde kullanılan yerlere göre N tipi mosfet veya P tipi mosfet olmak üzere iki çeşittir. Çalışma şekillerine göre ise mosfetler; enhancement (çoğaltan - arttıran kanallı) mosfetler ve depletion (deplasyon - azaltan kanallı) mosfetler olarak iki ayrılır.

H-Bridge motor sürücü devresinde 2 adet IRF9540 P kanal mosfetleri sürmek için 2 adet BC337 NPN kanal transistör kullanılmıştır. Bu transistörlerin kullanım amacı 2 farklı gerilim değerimizin olması, bunlar mikrodenetleyici (PIC-18F2550) için gerekli olan 5V ve H-Bridge motor sürücü devresi için gerekli olan 12V kullanılmasından dolayı Q1 ve Q2 IRF9540 P kanal mosfetleri sürmek için 2 adet BC337 NPN kanal transistörler devreye eklenmiştir.

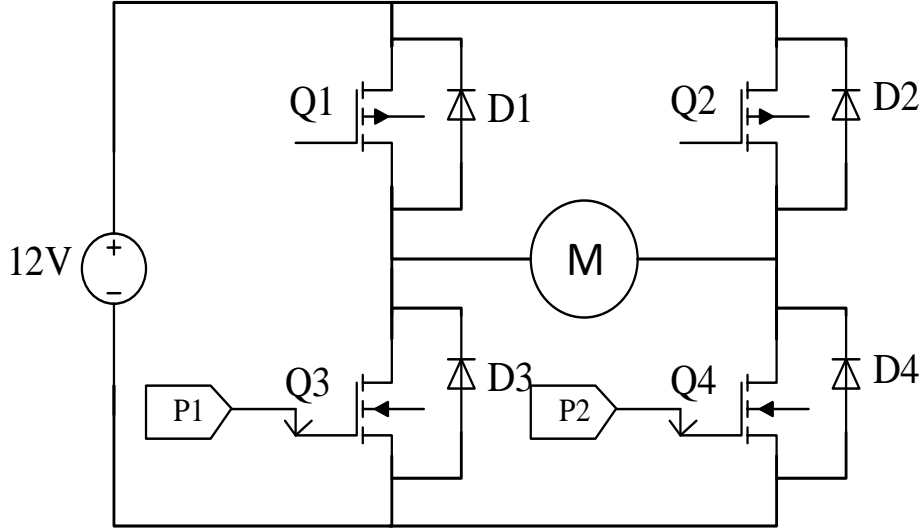
H-Bridge doğru akım (DA) motor sürücü devre tasarımı için kullanılan Microsoft/Visio programında Şekilde 3.12'de gösterildiği gibi yüksek taraftaki mosfetlerin C uçları giriş gerilimine, alçak taraftaki mosfetlerin E uçları ise toprağa bağlanmıştır. Kısa devre yaptırılmaması için Q1 ile Q3 mosfetlerinin ve Q2 ile Q4 mosfetlerinin aynı anda ilettime geçirilmemesi gerekmektedir.

Uygulama devresinde kullanılan 2 adet IRF9540 P kanal mosfetin veri sayfasından (data sheet'ten) alınan veriler;

Pd: 150W, Vds: -100V, Vgs: $\pm 20V$, Id: 19A, Tj:175°, Rds: 0.2 Ω

Uygulama devresinde kullanılan 2 adet IRF530 N kanal mosfetin veri sayfasından (data sheet'ten) alınan veriler;

Pd: 88W, Vds: 100V, Vgs: $\pm 20V$, Id: 14A, Tj:175°, Rds: 0.16 Ω



Şekil 3.12. Microsoft Visio'da oluşturulan H-Bridge motor sürücü devresi.

Şekil 3.12'de verilen, 2 adet IRF9540 ve 2 adet IRF530 mosfetten oluşan H-Bridge motor sürücü devresinde IRF9540 P kanal mosfetleri sürmek için 2 adet BC337 NPN kanal transistör kullanılmıştır. IRF530 P kanal mosfetleri direkt olarak devrede kullanılan mikrodenetleyicinin (PIC-18F2550) çıkışından sürülmüştür. Uygulamada sistemin çalışma frekanslarında mosfetlerde herhangi bir aşırı ısınma ve aksaklığa rastlanmamıştır.

3.3. Darbe Genişliği Modülasyonu (DGM & PWM)

Darbe genişliği modülasyonu (DGM&PWM) bir elektrik sinyali tarafından iletilen ortalama gücü, ayrı ayrı parçalar halinde etkin bir şekilde kırarak azaltma yöntemidir. Yükün çektiği voltajın ve akımın ortalama değeri, besleme ile yük arasındaki anahtarın hızlı bir şekilde açılması ve kapatılmasıyla kontrol edilir. Anahtar kapalı kalma sürelerine göre ne kadar uzun süre açık kalırsa, yüke sağlanan toplam güç de o kadar yüksek olur.

Güç kaynağının değişmesi gereken oran (veya frekans), yüke ve uygulamaya bağlı olarak büyük ölçüde değişebilir. Örneğin, elektrikli ocakta anahtarlama dakikada birkaç kez yapılmalıdır; Bir lambada 50-120 Hz; bir motor sürücüsü için birkaç kilohertz (kHz) ile onlarca kHz arasında ve ses amplifikatörlerinde ve bilgisayar güç kaynaklarında onlarca veya yüzlerce kHz'lerde çalışmaktadır. PWM'in temel avantajı, anahtarlama cihazlarındaki güç kaybının çok düşük olmasıdır. Bir anahtar kapalıyken pratikte akım

sıfırdır ayrıca açık olduğunda ve yüke güç aktarıldığında, anahtar boyunca neredeyse hiç voltaj değerinde azalma gerçekleşmez. Gerilim ve akımın ürünü olan güç kaybı bu nedenle her iki durumda da sıfıra yakındır. PWM ayrıca, açma / kapama doğası gereği gerekli görev döngüsünü kolayca ayarlayabilen dijital kontrollerle de iyi çalışır. PWM, görev döngüsünün bir iletişim kanalı üzerinden bilgi iletmek için kullanıldığı belirli iletişim sistemlerinde de kullanılmaktadır.

Tarihçe

Darbe genişliği modülasyonu (DGM&PWM) yönteminden önce bazı makineler (dikiş makinesi motoru gibi) kısmi veya değişken güç gerektiren yerlerde, geçmişte kontrol (bir dikiş makinesinin ayak pedalında olduğu gibi), motor boyunca akan akım miktarını ayarlamak için motora seri bağlanmış bir reosta kullanılarak gerçekleştirilirdi. Verimsiz bir yöntemdi çünkü bu aynı zamanda reostadaki direnç elemanında ısı olarak boşa harcanan güç demektir ancak toplam güç düşük olduğu için tolere edilebilirdi. Reosta, gücü kontrol etmenin birkaç yöntemlerden biri olmasına karşın düşük maliyetli ve verimli bir güç değiştirme/ayarlama yöntemi henüz bulunamamıştı. Bu mekanizmanın ayrıca fanlar, pompalar ve robotik servolar için motorların sürülebilmesi ve lambaya entegre edilecek kadar kompakt olması gerekiyordu. Darbe genişliği modülasyonu (DGM&PWM) bu karmaşık soruna bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır.

Prensip

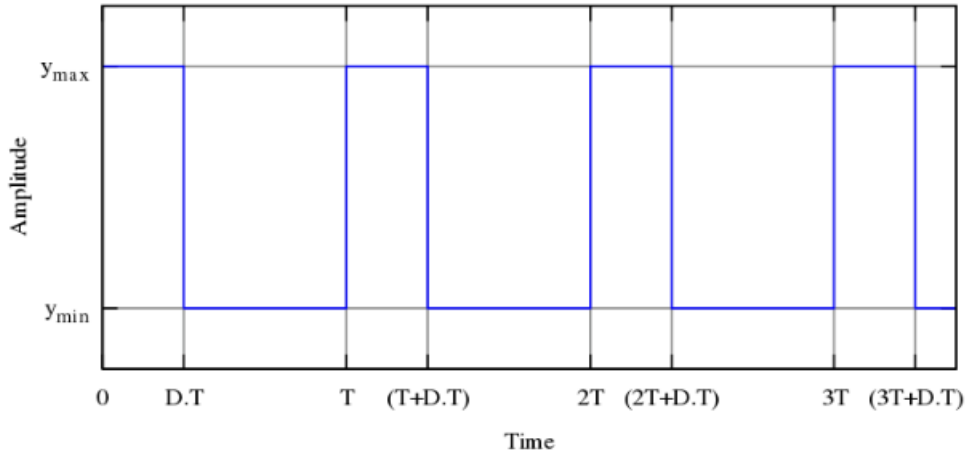
PWM'e elektrik ve elektronikte birçok alanda, farklı uygulamalarda ihtiyaç duyulur. Telekomünikasyon, güç elektroniği, voltaj düzenleyiciler, ses üreteçleri veya yükselteçler gibi çeşitli uygulama alanları ve çok daha değişik kullanım sahasına sahiptir.

Günümüzde PWM'in (DGM) en çok ihtiyaç duyulduğu ve kullanıldığı yer, güç kaynaklarıdır. SMPS (Switched mode power supply) güç kaynakları, düzenlenecek olan çıkış voltajlarını bu teknikten yararlanarak elde etmektedirler. Bu sayede, yüksek akım ve düşük voltajlı güç elde edimlerini için, transformatörlerden çok daha etkin ve çok daha küçüklerdir. Bilgisayarların kasasındaki güç kaynağını düşündüğünüzde, 250-350

Wattlık çıkış gücüne sahip olan bir güç kaynağının nasıl bu kadar küçük ve etkin dizayn edildiğinin cevabı SMPS olacaktır.

Üretilen PWM (DGM) kare dalga darbe sinyallerinin genliklerinin ortalaması, çıkışta üretilecek olan analog değer elde edilmesini sağlar.

Belirli bir süre için bir mantık "1" ve mantık "0" sağlar. DGM ya da PWM doğru akım (DA) motorun hız kontrolünü gerektiren birçok uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Modülasyonlu bir sinyal, yüksek bir değer (y_{max}), düşük bir değer (y_{min}) ve bir görev döngüsü ile kare dalga biçimi $f(t)$ olarak kabul edilirse, ortalama dalga biçimi değeri aşağıdaki gibi yazılır:



Şekil 3.13. Üretilen kare dalga darbe sinyallerinin genliklerinin duty cycle ile değişimi (Anonim 2019ı. <https://diyot.net/pwm>, 2019).

Şekil 3.13'te verilen kare dalganın frekansına $f(t)$, en düşük genlik değerine y_{min} , en yüksek genlik değerine y_{max} ve sinyal oranına (duty cycle) D diyelim, ortalama sinyal,

$$y = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (3.20)$$

$f(t)$ kare dalga olduğundan,

$f(t)$, y_{max} için $0 < t < D.T$ ve y_{min} için $D.T < t < T$ değerleri elde edilebilir.

Buradan,

$$y = \frac{1}{T} \left(\int_0^{DT} y_{max} dt + \int_{DT}^T y_{min} dt \right) \quad (3.21)$$

$$= \frac{D.T.y_{max} + T(1-D)y_{min}}{T} \quad (3.22)$$

$f(t)$ bir kare dalga olduğunda maksimum değer, en yüksek görev çarpanı içindir ve minimum değer, görev çarpanının düşük değeri içindir (Gaeid ve ark., 2013). Daha sonra eşitlik (3.20) aşağıdaki gibi olacaktır:

$$f(x) = D.y_{max} + (1-D).y_{min} \quad (3.23)$$

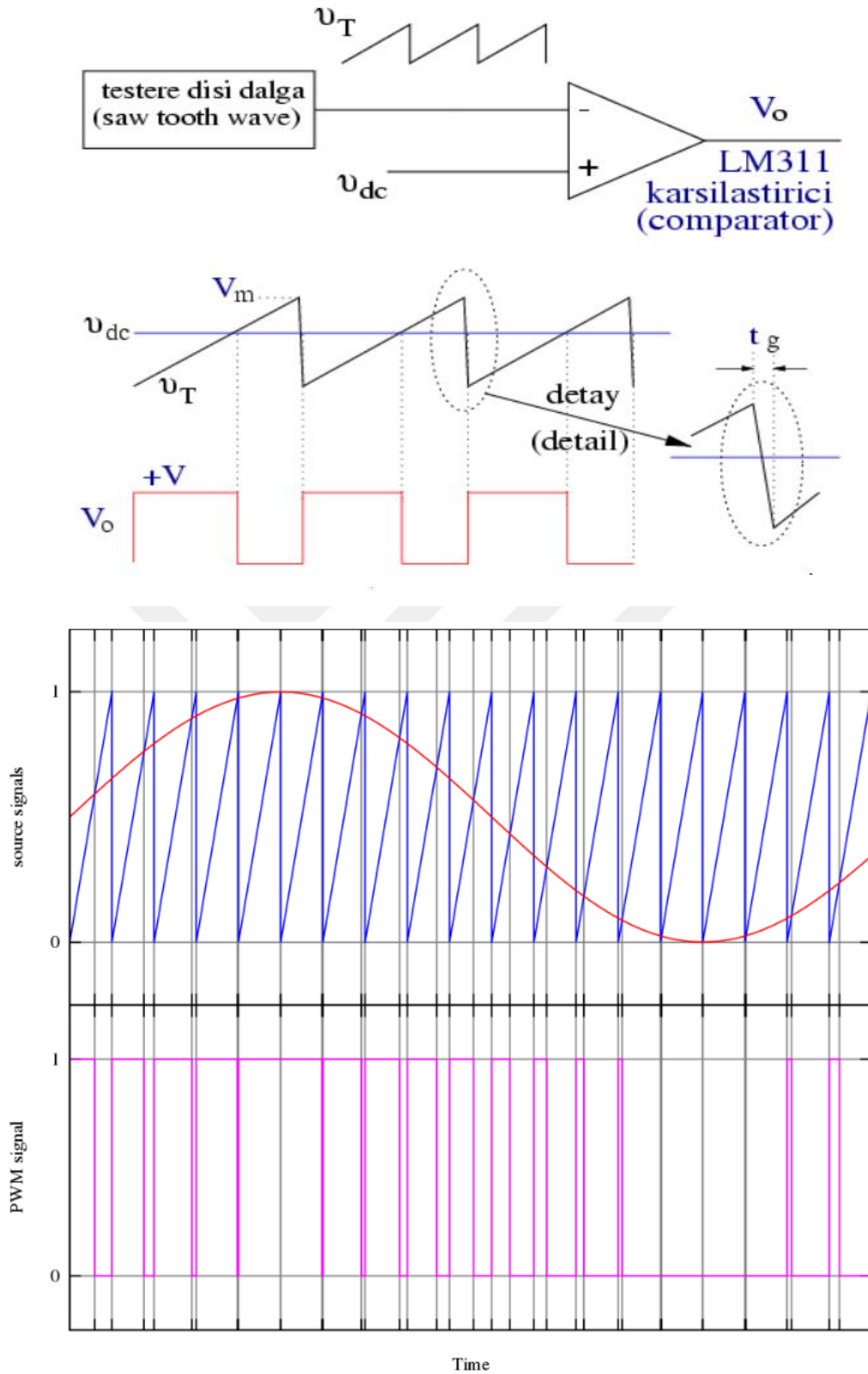
elde edilir.

Yukarıda verilen formül genellikle $y_{min} = 0$ iken $y = D.y_{max}$ olarak bulunur. Görüldüğü gibi elde edilecek ortalama değer direk sinyal oranıyla (duty cycle) doğru orantılıdır. Yukarıda “Eş. 3.20” den “Eş. 3.23” e kadar verilen eşitliklerle PWM’in görev periyoduyla ortalama değeri bulunmaktadır.

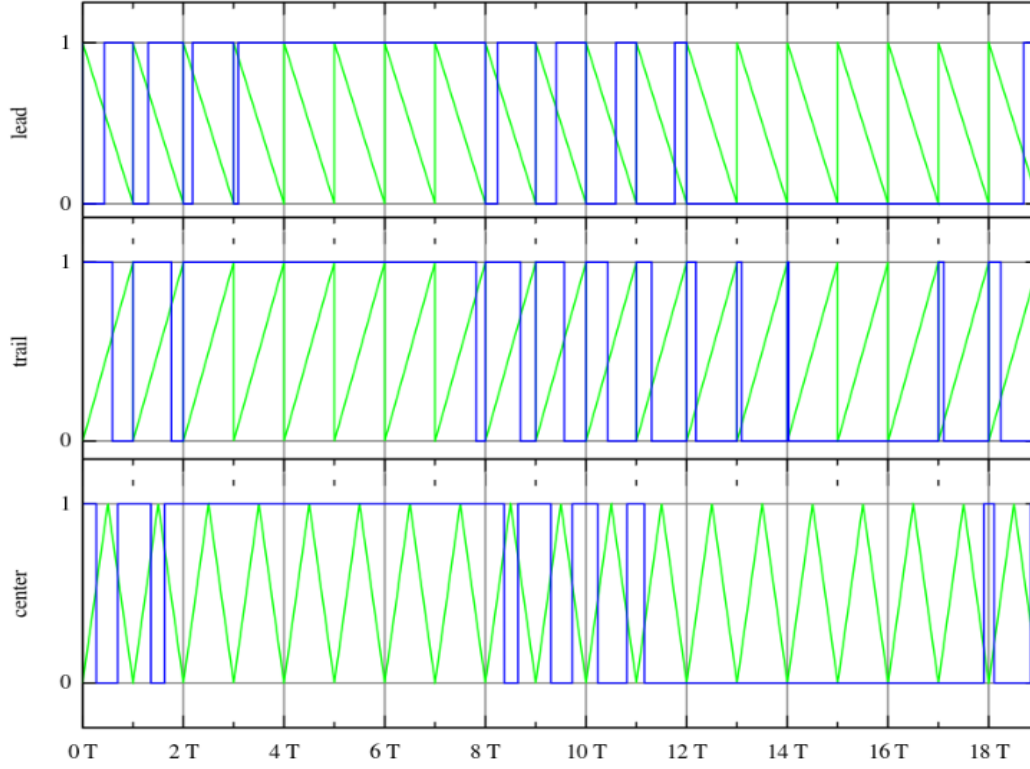
Basit bir PWM sinyali üretmenin en kolay yolu

Şekil 3.14’te gösterilen, bir PWM sinyali üretmenin en basit yolu sadece bir testere dişi veya bir üçgen dalga formunu basit bir osilatör kullanılarak kolayca oluşturulan ve bir karşılaştırıcı sayesinde kesişme noktalarını kıyaslayan bir yöntemdir. Referans sinyalinin değeri modülasyon dalga formundan daha fazla olduğunda, PWM sinyali yüksek durumdadır, aksi takdirde düşük durumdadır.

Darbe Genişliği Modülasyonu (Pulse Width Modulation-PWM) tekniği, üretilecek olan darbelerin, genişliklerini kontrol ederek, çıkışta üretilmek istenen analog elektriksel değerini veya sinyalin elde edilmesi yöntemidir.



Şekil 3.14. Darbe Genişliği Modülasyonunun (DGM&PWM) elde edilmesi (Yıldırım,D.,2001. <https://web.itu.edu.tr/yildiri1/mylibrary/pwm/2>, 2019).



Şekil 3.15. Darbe Genişliği Modülasyonunun (DGM&PWM) ön, merkez ve arka kenar testere-üçgen dalga şekilleri (Anonim 2019e.) (<https://www.elektrikport.com/teknik-kütüphane/pwm>, 2019).

Darbe genişliği modülasyonu (DGM&PWM) yöntemleri

Delta yöntemi

PWM kontrolünde delta modülasyon yönteminin kullanılırken çıkış sinyalinin integrali alınır ve sonuç sabit bir referans sinyaliyle karşılaştırılır. Çıkış sinyali limitlerden birisine her ulaştığında PWM sinyali durumu değişir.

Delta-Sigma yöntemi

Delta-Sigma modülasyon yöntemiyle PWM kontrolünde, çıkış sinyali ve referans sinyali birbirinden çıkarılarak hata sinyali bulunur. Hata sinyalinin integrali limitlere ulaştığı her zaman PWM sinyali durumu değişir.

Uzay-Vektör yöntemi

Uzay vektör modülasyonu çok fazlı AC PWM sinyali üretmekte kullanılan bir PWM algoritmasıdır. Referans sinyali belirli aralıklarla örneklenir, her bir örnekten

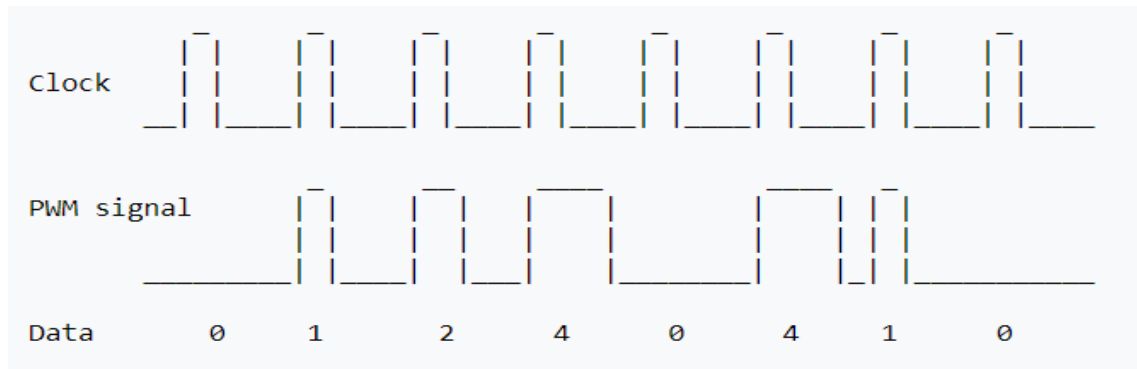
sonra, sıfır olmayan aktif anahtarlama vektörleri ve referans anahtarlama vektörlerinin ortalaması olarak sentezlenir, örnekleme süresinin uygun bir kısmı için de sıfır anahtarlama vektörlerinden bir veya daha fazlası seçilerek yapılır.

Doğrudan tork yöntemi(DTC)

Doğrudan tork kontrolü AC motor kontrolünde kullanılan bir PWM kontrol yöntemidir. Delta modülasyonu arasında yakın bir ilişki vardır. Motorun torku ve manyetik akısı istenilen kontrolü elde etmek için hesaplanır ve motorun tork ve akısının çalışma esnasında bu hesaplanan değerlere göre belirlenen bir sınırın içinde kalması istenilerek kontrol işlemi yapılır. Ne zaman tork ve akı belirlenen sınırların dışına çıkarsa yarı iletken anahtarlar açma kapama yaparak sinyali tekrar sınırın içinde tutmaya çalışır.

Zaman oranlama yöntemi

Birçok dijital devre PWM sinyali üretebilir (çoğu mikrodenetleyicide PWM çıkışları vardır). Normalde periyodik olarak arttırma işlemi yapan bir sayıcı kullanılır (sayıcı direkt veya endirekt olarak devrenin saatine bağlıdır) ve sayıcı her bir PWM periyodunun sonunda sıfırlanır. Sayıcıdaki değer referans değerden fazla olursa PWM çıkışı durumu değiştirir, alçaktan yükseğe (veya yüksekte alçağa). Bu teknik zaman oranlaması veya ayrıntılı olarak zaman orantı kontrolü diye adlandırılır. Şekil 3.16'da gösterildiği gibi PWM sinyal üretilir.



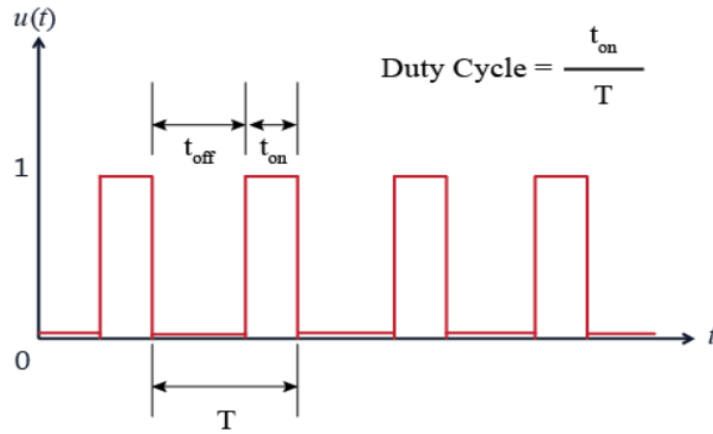
Şekil 3.16. Darbe Genişliği Modülasyonunun (DGM&PWM) dijital-sayısal üretim şekli (Tasarlanan devrede kullanılan PWM yöntemi).

3.3.1. Darbe genişliği modülasyonunda (DGM & PWM) sayısal kontrol

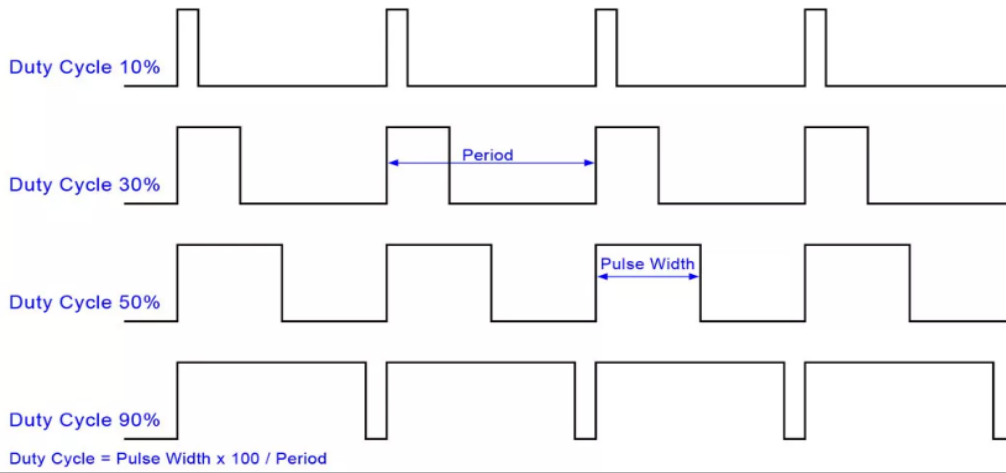
PWM üretme tekniği, motor sürücü devrelerinde, güç elektroniğinde, voltaj düzenleyicilerde, telekomünikasyonda yazılımda ve çözüm teknikleri gibi birçok alanda sıklıkla ihtiyaç duyulmaktadır.

Darbe Genişliği Modülasyonu (DGM & PWM) analog devrelerin sayısal çıkışlarla kontrol edilmesinde kullanılan en güçlü yöntem olup endüstriyel alanlarda bulunan birçok mikrodenetleyici PWM (DGM) modülünü bünyesinde bulundurmaktadır. Bu PWM (DGM) ünitesi, frekansın ve sinyal oranının programlanarak elde edilebilir.

Şekil 3.17’de gösterildiği gibi belirli frekansta elde edilecek olan kare sinyalin kontrolünü devreye bağlanmış seri bir anahtar yardımıyla tasarlanabilir.



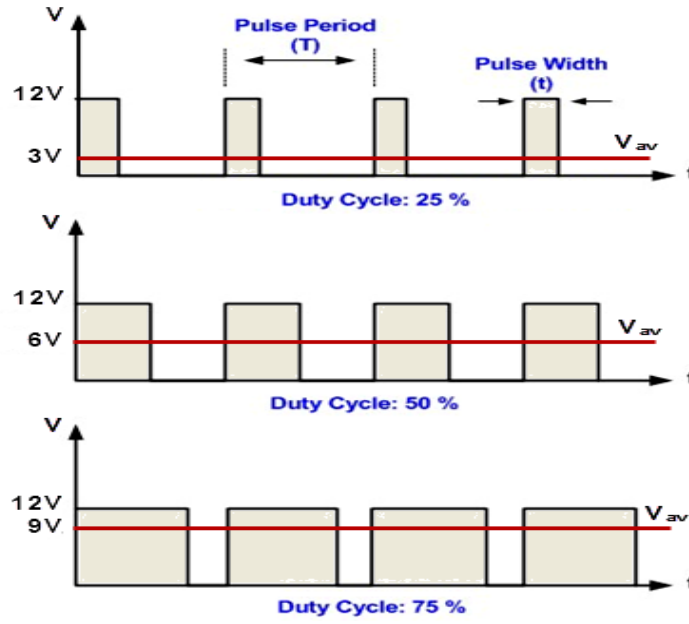
Şekil 3.17. Sayısal kontrol yöntemiyle uç geriliminin Ton ve Toff ile ilgili değişimi.



Şekil 3.18. Sayısal kontrol yöntemiyle uç geriliminin görev periyoduna (duty cycle) bağlı olarak ortalama uç geriliminin değişimi.

Şekil 3.18’de (Ali, 2017) verilen grafik, Duty Cycle %10, %30, %50 ve en alttaki ise %90 görev periyotları için belirlenmiştir.

Şekil 3.19’da (Yousef ve Mostafa, 2015) verilen uç geriliminin 12V olduğunu düşünersek, verilen görev periyodu oranlarıyla üretilecek olan ortalama uç gerilim değerleri, %10 için 1.2V, %30 için 3.6V, %50 için 6V ve %90 için 10.8V şeklinde olacaktır.



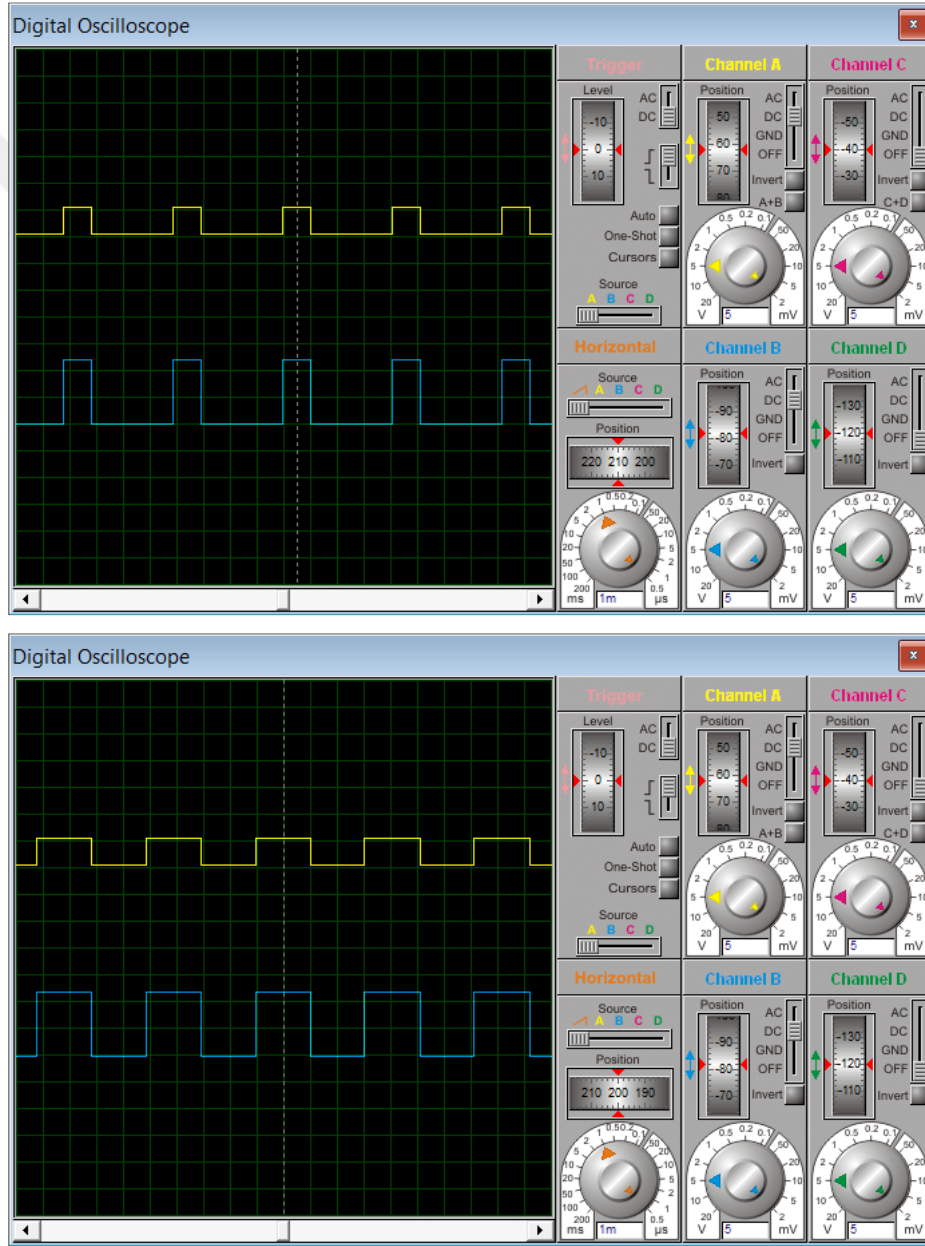
Şekil 3.19. Farklı görev periyotlarına (duty cycle) bağlı olarak ortalama uç geriliminin değişimi.

Bu modelde kullanılan basit anahtar yerine rahatlıkla BJT, FET, MOSFET veya IGBT kullanılabilir. Yukarıda saydığımız yarı iletken anahtarlama elemanlarını rahatlıkla mikrodenetleyiciler tarafından kontrol edilmektedir. Bu sayede mikrodenetleyiciler tarafından kontrol edilen basit bir analog sistem ile ihtiyaç duyulan PWM üretilmiştir.

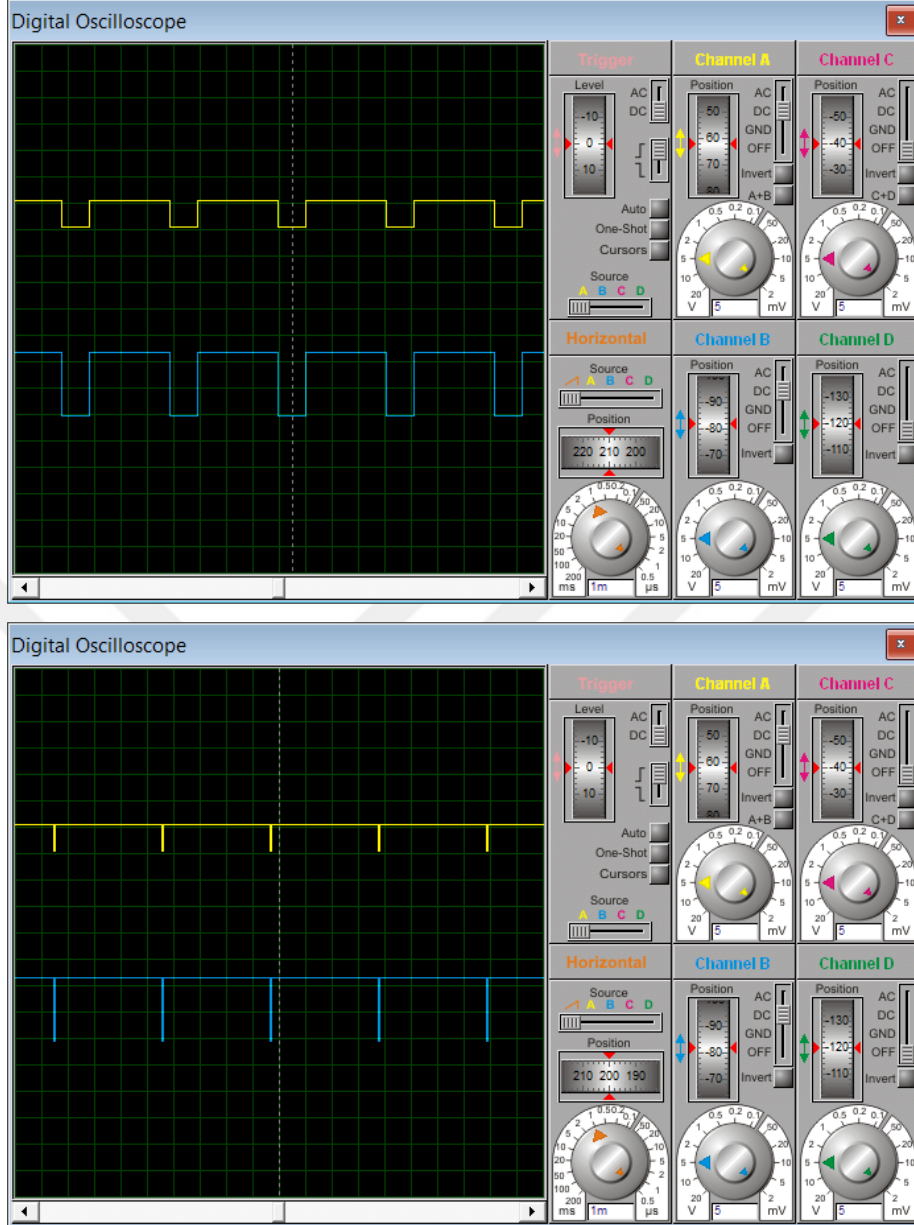
Elbette üretilen sinyalin frekansı da göz ardı edilmemelidir. Çok düşük bir frekans ile üretilen darbe sinyalleri ve bunlarla kontrol edilen bir yarı iletken anahtar ile kontrol edilen devrede, kontrol edilen sistemin devreye girme ve çıkma zamanlarında gecikmeler hissedilebilir. Bunu ortadan kaldırmak için anahtarlama frekansı artırılmalıdır. Bunun için kullanılan mikrodenetleyicinin ve kullanılan yarı iletken anahtarlama elemanlarının çalışma frekanslarının yüksek olanları tercih edilir. Genellikle bu tür uygulamalarda, 1kHz – 200kHz arasındaki frekanslarda çalışılır.

PWM sinyalleri ve çeşitli görev periyotlarına karşılık gelen doğru akım (DA) motor terminal gerilimi, Şekil 3.20'de ve Şekil 3.21'de (Yousef ve Mostafa, 2016), simülasyon çıktıları aşağıda verilmiştir.

Simülasyon için seçilen %25, %50, %75 ve %100 görev periyotlarında, motor terminal gerilimi ortalama değerler olarak elde edilmiş olup doğru akım (DA) motora uygulanan terminal gerilimler sırasıyla 3V, 6V, 9V ve 12V'a karşılık gelmiştir. Ortalama terminal gerilimlerle doğru akım (DA) motorun hız kontrolü sağlanabilir.



Şekil 3.20. Simülasyonda %25 ve %50 görev periyodu ile elde edilen PWM sinyalleri.



Şekil 3.21. Simülasyonda %75 ve %100 görev periyodu ile elde edilen PWM sinyalleri.

3.3.2. PIC donanım kontrolörleri

Tasarım uygulamalarında kullanılan mikrodenetleyicilerin birçoğu dahili PWM (DGM) ünitesine sahiptir. Örneğin, PIC16C67, 16F628 veya 18F2550 içerisinde kendi üzerine entegre PWM (DGM) modülleri içermektedir. PWM tasarımlarına başlamadan önce, mikrodenetleyicinin datasheet'lerinde aşağıdaki bilgilerin belirlenmesi gerekir.

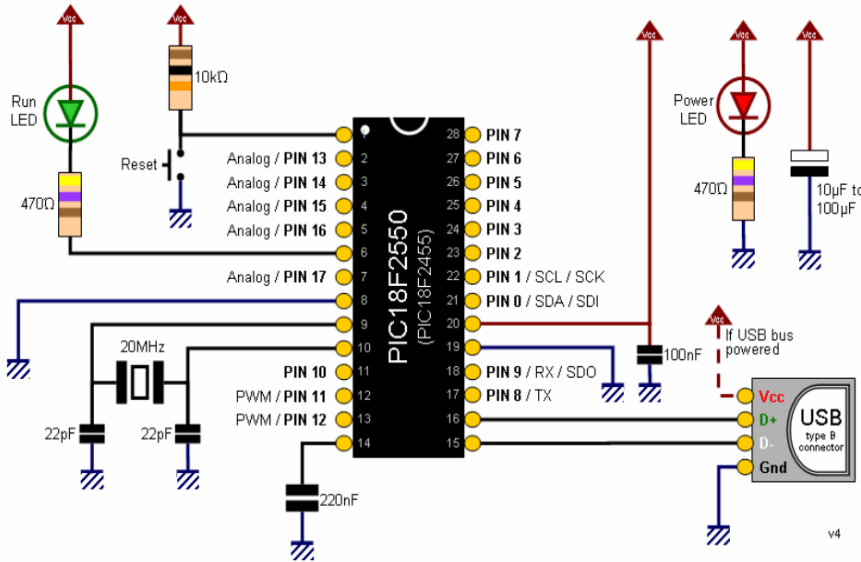
- Entegre edilen dahili sayaçlar ayarlanarak, kare dalganın modülasyonunda kullanılacak çalışma periyodu girilmelidir,
- PWM kontrol yazmaçları ayarlanmalıdır,
- PWM çıkışının sağlanacağı Pin ayarları yapılmalıdır,
- Sayaç başlatılmalıdır,
- PWM kontrolü aktif hale getirilmelidir.

3.3.3. PIC haberleşme ve kontrol

PWM'in en önemli avantajlarından biri sayısal'dan analog'a dönüştürme işlemini oldukça basit bir şekilde elde edilmesidir. Sinyalin sadece 1 ve 0'larının miktarları belirlenerek, analog sinyal üretilmiş olunur.

Fakat, analog sinyalin üretiminde oluşacak olan gürültü bir dezavantajdır. Sayısal olarak üretilen sinyal analog'a çevrilmeden önce, gereken zamanlarda RC veya LC filtre devreleri kullanılarak oluşan bu gürültü engellenebilir.

3.4. Uygulamada Kullanılan Mikrodenetleyici (PIC-18F2550)



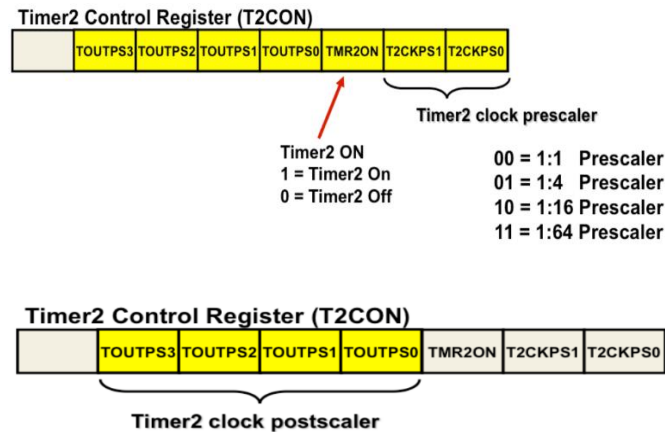
Şekil 3.22. Uygulamada kullanılan mikrodenetleyici (PIC-18F2550).

Şekil 3.22’de (Anonim 2019h. <https://www.microchip.com/PIC18F2550/Data Sheet / 2007>) gösterilen, proje kapsamında tasarlanan devrede 16 MHz osilatör frekansı ile çalışan 18F2550 mikrodenetleyici kullanılmıştır. İşlemcide 10 bit çözünürlükte iki PWM üretici bulunmakta olup, doğru akım (DA) motor sürücü devremizde bulunan mosfetlerin sürülmesinde kullanılmıştır.

Microchip firmasına ait 18F2550 mikrodenetleyicisi dahili PWM modülüne sahiptir. Bu modül Capture, Compare, PWM (CCP) modülü olarak ifade edilmiştir. Bu modül ile maksimum 10 bit çözünürlüklü PWM sinyalleri üretilebilir. CCP modülün kullanımı için ihtiyaç duyulan bilgiler incelenmiştir.

3.4.1. Timer 2 modülü

Timer_2 8 bitlik prescaler ve postscaler'a sahip bir sayaçdır. CCP modülünün PWM sinyalin elde edilmesinde kullanılır. TMR2 yazmacı okunabilir ve yazılabilir bir kısım olup cihaz RESET edildiğinde temizlenebilir. Prescale ayarları (zaman bölmesi) 1:1, 1:4 veya 1:16 oranında ayarlanabilir. Bu sayede cihazın çalışma frekansına göre, sayacın sayma hızının ayarlanması yapılır. Prescale ayarlama bitleri T2CON yazmacının 0 ve 1.bitleridir. Şekil 3.23’te verilen, timer_2 modülü 8 bitlik bir periyod yazmacına sahiptir (PR2). Timer_2 sayacı 00_{16} 'dan başlayarak artarak FF_{16} 'e kadar sayar ve tekrar sıfırlanarak saymaya devam eder. PR2 yazılabilir ve okunabilir bir yazmaç olup TMR2'nin postscalerı PWM modülünün kullanımında tercih edilmez. TMR2 sayacı TMR2ON kontrol bitinin 0'lanması ile durdurulur ve güç tüketimi minimum seviyelere çekilir. TMR2'nin T2CON kontrol 8 bitlik gösterimi aşağıdaki şekillerde belirtilmiştir.



Şekil 3.23. TMR2'nin T2CON kontrol 8 bitlik gösterimleri.

Timer2'nin prescaler'ı ve postscaler'ı aşağıdaki durumlar gerçekleşirse değişir.

- TMR2 yazmacına herhangi bir değer girildiğinde,
- T2CON yazmacına herhangi bir değer yazdırıldığında,
- Kullanılan cihaz herhangi bir nedenden dolayı (Power on reset, MCLR, Watchdog timer reset, Brown out reset) yeniden başlatıldığında.

3.4.2. Capture/Compare/PWM modülü (CCP)

Şekil 3.24'de verilen, CCP modülü 16 bitlik bir yazmacı bulunmaktadır. CCP modülü diye ifade edilen yazmaç Capture yazmacı, Compare yazmacı veya PWM master/slave sinyal oranı (duty cycle) yazmacı olarak kullanılır. Bu 16 bitlik yazmaç iki adet 8 bitlik yazmaçtan oluşur (CCPR1L ve CCPR1H). CCP1CON yazmacı CCP modülünün kontrol edilmesinde kullanılmaktadır.

EXAMPLE PWM FREQUENCIES AND RESOLUTIONS AT 20 MHz

PWM Frequency	1.22 kHz	4.88 kHz	19.53 kHz	78.12kHz	156.3 kHz	208.3 kHz
Timer Prescaler (1, 4, 16)	16	4	1	1	1	1
PR2 Value	0xFFh	0xFFh	0xFFh	0x3Fh	0x1Fh	0x17h
Maximum Resolution (bits)	10	10	10	8	7	5.5

REGISTERS ASSOCIATED WITH CAPTURE, COMPARE AND TIMER1

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other Resets
0Bh, 8Bh, 10Bh, 18Bh	INTCON	GIE	PEIE	TMR0IE	INTE	RBIE	TMR0IF	INTF	RBIF	0000 000x	0000 000u
0Ch	PIR1	PSPIF ⁽¹⁾	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF	0000 0000	0000 0000
0Dh	PIR2	—	—	—	—	—	—	—	CCP2IF	---- --0	---- --0
8Ch	PIE1	PSPIE ⁽¹⁾	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE	0000 0000	0000 0000
8Dh	PIE2	—	—	—	—	—	—	—	CCP2IE	---- --0	---- --0
87h	TRISC	PORTC Data Direction Register								1111 1111	1111 1111
0Eh	TMR1L	Holding Register for the Least Significant Byte of the 16-bit TMR1 Register								xxxx xxxx	uuuu uuuu
0Fh	TMR1H	Holding Register for the Most Significant Byte of the 16-bit TMR1 Register								xxxx xxxx	uuuu uuuu
10h	T1CON	—	—	T1CKPS1	T1CKPS0	T1OSCEN	T1SYNCR	TMR1CS	TMR1ON	--00 0000	--uu uuuu
15h	CCPR1L	Capture/Compare/PWM Register 1 (LSB)								xxxx xxxx	uuuu uuuu
16h	CCPR1H	Capture/Compare/PWM Register 1 (MSB)								xxxx xxxx	uuuu uuuu
17h	CCP1CON	—	—	CCP1X	CCP1Y	CCP1M3	CCP1M2	CCP1M1	CCP1M0	--00 0000	--00 0000
1Bh	CCPR2L	Capture/Compare/PWM Register 2 (LSB)								xxxx xxxx	uuuu uuuu
1Ch	CCPR2H	Capture/Compare/PWM Register 2 (MSB)								xxxx xxxx	uuuu uuuu
1Dh	CCP2CON	—	—	CCP2X	CCP2Y	CCP2M3	CCP2M2	CCP2M1	CCP2M0	--00 0000	--00 0000

Legend: x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented, read as '0'. Shaded cells are not used by Capture and Timer1.

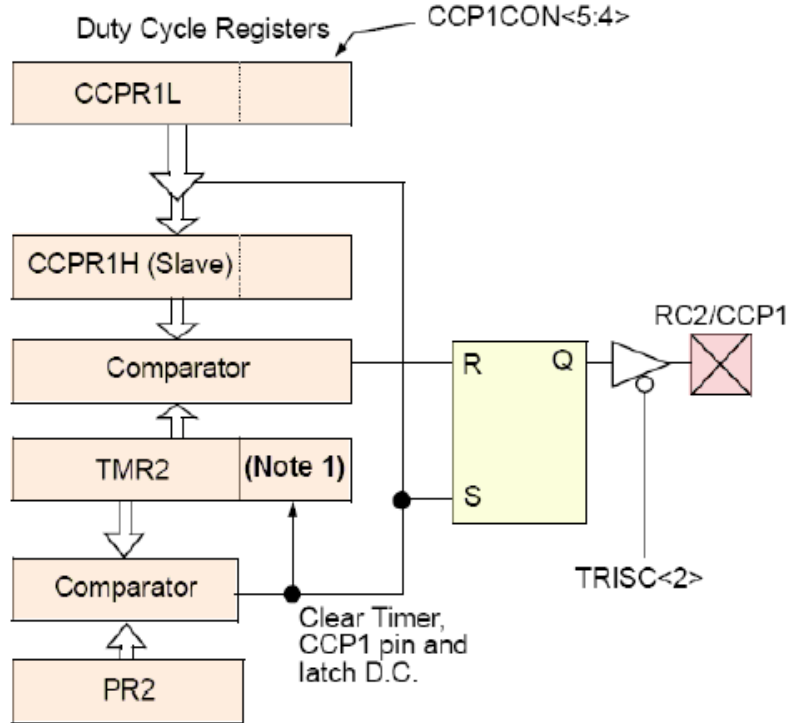
Note 1: The PSP is not implemented on 28-pin devices; always maintain these bits clear.

Şekil 3.24. CCP1CON PIC modülünün adresi, kontrol 8 kontrol bitlik gösterimi ve 20 MHz kristal ile çalışan PWM çalışma frekansları ve çözünürlük aralıklarının gösterimleri.

3.4.3. PWM modülü

PWM modunda CCP1 pini en çok 10 bite kadar çözünürlükte PWM çıkışı elde edilebilir. CCP1 pini mikrodenetleyicide PORTB' nin 3 üncü pinine ait görevlerini yerine getirmek üzere programlanmıştır. PWM modunda çıkışın elde edilebilmesi için CCP1 çıkış olarak ayarlanmalıdır ($TRISB.3 = 0$). Bir PWM çıkışı, belirli bir periyotta gerçekleşen, mantıksal 1 ve mantıksal 0'lardan oluşur. PWM çıkışında frekans periyodun tersidir ($1/\text{periyot}$). PR2 yazmacı tarafından PWM' de periyot belirlenir.

Şekil 3.25'te verilen, PWM'in Duty cycle değeri (sinyal oranı, mantıksal 1'in mantıksal 0'a oranı) CCP1L yazmacına ve CCP1CON yazmacının 5 inci ve 4 üncü bitlerine girilen toplam 10 bitlik değer ile tespit edilir. Bu da en fazla 2^{10} değerinde PWM üretilmesidir (1023). CCP1L ve CCP1CON yazmaçlarının 5 inci ve 4 üncü bitleri çalışma sırasında istenildiği zaman yazılabilir. PWM modunda CCP1H yazmacı sadece okunabilir. Eğer PWM Duty Cycle değeri PWM periyodu kıyaslandığında PWM görev periyodu daha büyük olması durumunda, CCP1 pini resetlenmeyecektir. Böyle bir durumda mikrodenetleyiciye reset atılarak değerler tekrar girilmelidir.



Şekil 3.25. CCP1 modülünün PWM akış diyagramı (Yousef ve Mostafa, 2015).

3.5. PI Kontrol ve Etkileri

Bir sistemin çıktısının belli bir zaman diliminde belirlenen kontrol parametrelerine uygun olarak elde edilmesi kontrol etkisi olarak açıklanmaktadır. Sistemin başında duran operatör sistem için en temel denetleyici olmuştur. Sistem operatör tarafından gözlemlenir, algılarına uygun öngörülerde bulunur ve buna uygun olarak sistem girdisini değiştirerek en temel kontrolü sisteme uygulamakla görevlendirilmiştir. Bu kontrol şekli manuel (el ile) yapılan kontrol, en temel kontrol yöntemi olarak ifade edilir. Operatörün yaptığı işi yerine getirebilecek bir başka sistem ilave edilerek hatalı olan kısma getirilen bir başka çözüm elde edilir. Sistemde bundan sonra manuel değil de otomatik olarak kontrol edilmiş olunur, ayrıca yukarıda ifade edilen bu sisteme otomatik kontrol sistemi, kontrol edilmek istenen sisteme eklenen, sisteme de kontrolcü adı verilmiştir.

Denetleyici diye adlandırılan bir alt sistem esas olarak tüm sistemin bir parçası olarak ele alınmalıdır. Yani sistem davranışı denildiğinde tüm sistemin bir aradaki tepkilerinden (sistem değişkenlerinin zaman ile değişiminden) bahsedilmektedir. Burada kontrolcünün esas görevi sistem davranışını istenildiği gibi şekillendirmektir. Yani kontrolcü bir sistemin tüm işlevselliğini bir amaca yönelik değiştirecek şekilde işlem yaparak girdi olarak sistemin o andaki durumunun veya çıktısının bir verisine ihtiyaç duyacaktır. Birçok uygulamada bu girdi sistem hatasıdır. Çünkü bu hata sistem girdisinin referans alınan bilgiye ne kadar uzakta olduğunu ifade eder. Denetleyici tarafından elde edilen bu fark sistemin ne yapması gerektiğini belirlemek için kullanılır.

En kolay uygulama yöntemi on/off kontrol uygulaması olmuştur. Bu kontrolcünün çıktısı, sistem çıktısının referans bilgisinden farklı olduğu durumlarda tahrik sisteminin tam güç ile çıktıyı referans değerine doğru hızla sürmeye çalıştıracak şekilde belirlenir.

On/off kontrol uygulamalarında sistem cevabı iki uç tahrik etkisini elde edecek biçimde çalışmaktadır. Bu durum sistemlerin gecikmeli karakterleri de dikkate alındığında salınımlı (harmonik) zaman davranışına neden olacaktır. Böylece sistem belirli bir referans noktasına ulaştıktan sonra orada kalmak yerine bu referans etrafında salınım yapmaya başlayacaktır. Bu duruma engel olmak için uygulanan kontrol etkisi hatanın büyüklüğüne göre değişen sürekli denetleyiciler tasarlanarak sistem kararlı

duruma getirilmektedir. Gelişen teknolojiyle endüstride en yaygın olarak kullanılan kontrolcüler PI, PD ve PID kontrolcülerdir.

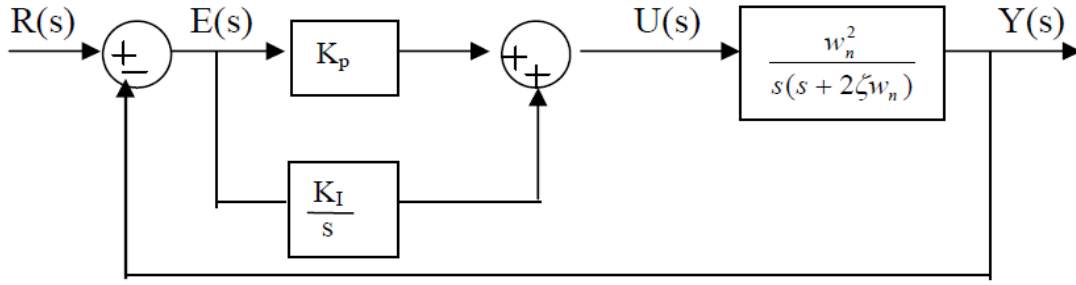
İntegral kontrol etkisinin daha verimli olması için oransal kontrol etkisi ile beraber kullanıldığı, bu tür sistemlerin daha etkin bir biçimde belirgin olmuştur. İntegral etkisi denetleyicinin devreye girmesinden kısa bir süre sonra aktif hale gelmekte olup oransal kontrol etkisinin hata küçüldükçe azaldığı düşünüldüğüne göre bu iki etkinin birbirini tamamlayıcı olarak çok verimli bir şekilde kullanılabilceği öngörülebilir. Sistem cevabını girdi değerine yaklaştırmasını sağlayan oransal etki hızlı bir şekilde etkisini kaybedecek bu noktadan sonra integral etki devreye girip kalıcı hatayı yok ederek ve sistemi çok hızlı olmasa da tam referans değerine getirecektir. Böylece sistem geri beslemeli kontrolör sayesinde kararlı ve ideal durum aralığında çalışabilecektir.

Kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanılan PI denetleyici sistemin sönümünü ve yükselme zamanını, daha büyük band genişliği ve rezonans frekansına rağmen düzelttiği ve birim basamak girişinde görüldüğü gibi zamanla değişmeyen girişlerde kontrolörün kararlı hal hatalarını etkilemediği yapılan simülasyon (benzetim) ve uygulama görülmüştür.

PI kontrolü bir çeşit kapalı döngü kontrol yöntemidir. Kapalı çevrim kontrol sistemlerinde, sistemin mevcut durumuyla ilgili bilgiler, sensörlerin yardımıyla sağlanır. Aynı zamanda denetleyici, çıktıdaki referans girdisiyle karşılaştırıldığında oluşan hatayı algılar ve düzeltir. Geri besleme verileri, hata sinyalini belirlemek için istenen referans değeri ile karşılaştırılır. Tespit edilen hata sinyali kontrol birimine gönderilir. PI denetleyicisinin integral kısmı kontrolör giriş işaretinin zaman integrali ile orantılı bir işaret elde eder. Şekil 3.26'da verilen, seri PI denetleyici ikinci mertebeden örnek bir kontrol sistemi verilmiştir. PI denetleyicinin transfer fonksiyonu;

$$G_C(s) = K_p + \frac{K_I}{s} \quad (3.24)$$

PI denetleyicisinin transfer fonksiyonu "Eş. 3.24" de verilen eşitlikle elde edilir.



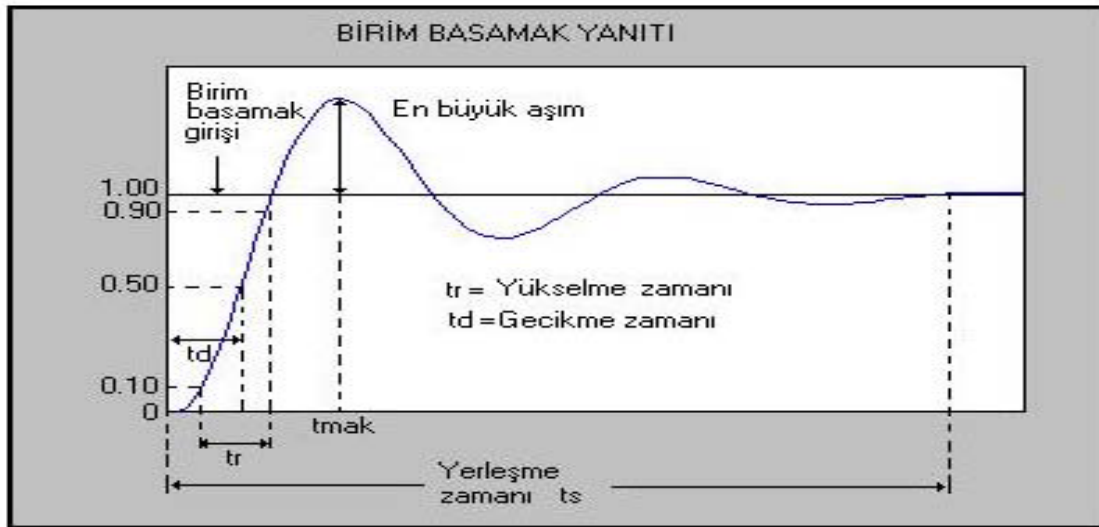
Şekil 3.26. PI kontrolör blok diyagramı.

- K_p = Oransal kazanç
- K_I = İntegral kazanç

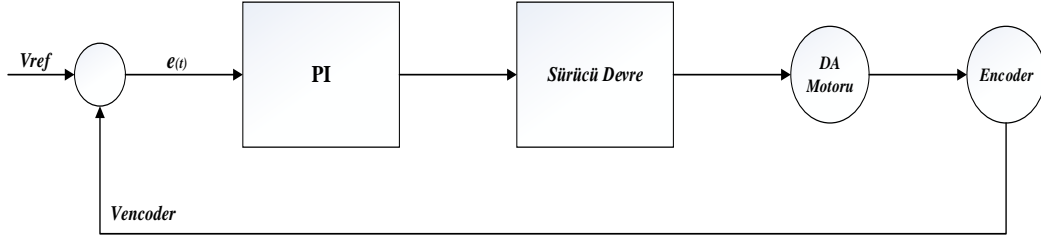
Olarak yazılır ve özetleyecek olursak, (K_p) yükselme zamanını ve kararlı hal hatasını düşürür fakat tamamen yok etmez. İntegral kontrol (K_i) kararlı hal hatasını yok eder ancak geçici durum cevabını olumsuz yönde etkiler. Kapalı çevrimli bir sistemin K_p ve K_i katsayılarının etkileri Çizelge 3.4'te verildiği gibi aşağıdaki tabloya göre gerçekleşir. Şekil 3.27'de ayrıca sistemin birim basamak cevabını gösteren şekil de verilmiştir.

Çizelge 3.4. PI kazanç katsayılarının sisteme etkileri.

Kontrol kazançları	Yükselme	Aşım	Yerleşme zamanı	Sabit durum hatası
K_p	Azalır	Artar	Küçük değişim	Azalır
K_I	Azalır	Artar	Artar	Yok eder



Şekil 3.27. Sistemin birim basamak yanıtı.



Şekil 3.28. Doğru akım (DA) motorun PI kontrolör ile hız kontrolü.

Şekil 3.28’de verilen, sistemde meydana gelecek hata sinyali kontrolcü kendi içinde değerlendirerek çıkışa aktarmaktadır. PI denetleyiciye hata sinyali $e(t)$ girildiğinde orantı etki kazancı (K_p) ile çarpılmakta ve hata sinyalinin integrali alınarak integral etki kazancı (K_i) ile çarpılmaktadır. Orantı ve integral (P ve I) tipi kontrolü toplamıyla meydana gelen yeni kontrolörün orantı ve integral kontrol etkilerinin birleştirilmesinden PI denetleyicisinin elde edileceği ayrıca bu elde edilen PI kontrolcünün çıkışı;

$$y(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt \quad (3.25)$$

PI denetleyicisinin sistem çıkışı “Eş. 3.25” de verilen eşitlikle elde edilir. Burada,

$y(t)$ = PI denetleyici çıkışı

K_p = Orantı etki kazancı

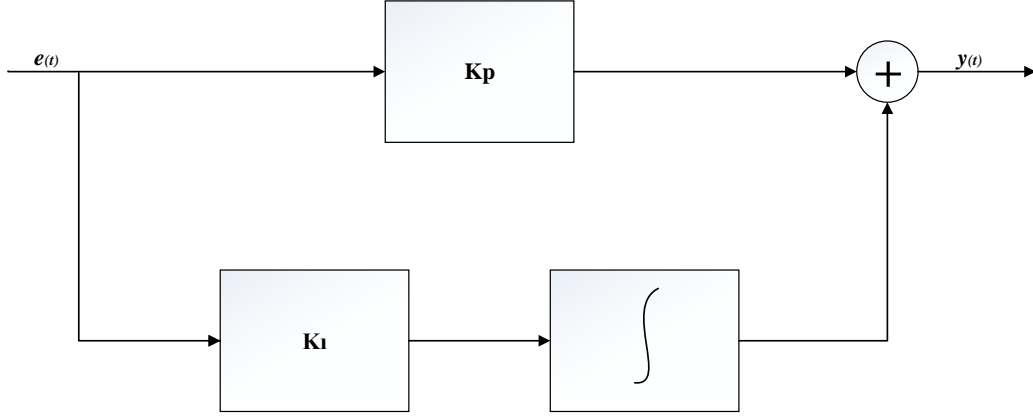
$e(t)$ = Hata

K_i = İntegral etki kazancı

olarak verilmiştir. Formüldeki K_p / K_i oranı, integral etki zamanı (T_i) olarak ifade edilir.

Şekil 3.28’de yukarıda verilen DA motor devir sayısı kapalı döngü sistemde referans değerleri ile ayarlanmaktadır. Sistemde kullanılan enkoder sayesinde motor devrindeki değişim tespit edilir. Motor yük durumuna göre endüvi sargısı veya uyarım sargısı gerilimi değiştirilerek devir sayısının referans değerinde kalması sağlanır. DA motor uç gerilimi yarı iletken anahtarlama elemanları yardımı ile değiştirildiğinden, sistem verimli ve güvenilirdir. Şekil 3.29’da PI denetleyici şeması verilmektedir. Sistemde oluşacak hata sinyali denetleyicide belirlenerek çıkışa gönderilmektedir. Hata sinyali $e(t)$ sistem kazancı ile çarpılmakta ve hata sinyalinin integrali alındıktan sonra kontrolör sayesinde istenen referans değere ulaşılmaya çalışılacaktır. Sistemde integratör

kullanılarak çıkıştaki aşım önlenmektedir. Hata sinyalinin değerine göre PI kontrolör çıkış değeri üzerinde değişiklikler yapılabilir.



Şekil 3.29. PI kontrol şeması.

Uygun tasarlanmış bir PI kontrolörü kontrol sistem davranışını şu şekilde etkiler:

- Sönümü düzeltir ve aşımı azaltır.
- Yükselme zamanını artırır.
- Band genişliğini azaltır.
- Kazanç payı, faz payı ve rezonans tepesini iyileştirir.
- Yüksek frekans gürültülerini süzer.
- Kontrolör devresindeki kapasite değerinin çok büyük olmaması için uygun seçilmesi.
- Gereken KI ve Kp değerleri PD kontrolünde daha sınırlıdır.

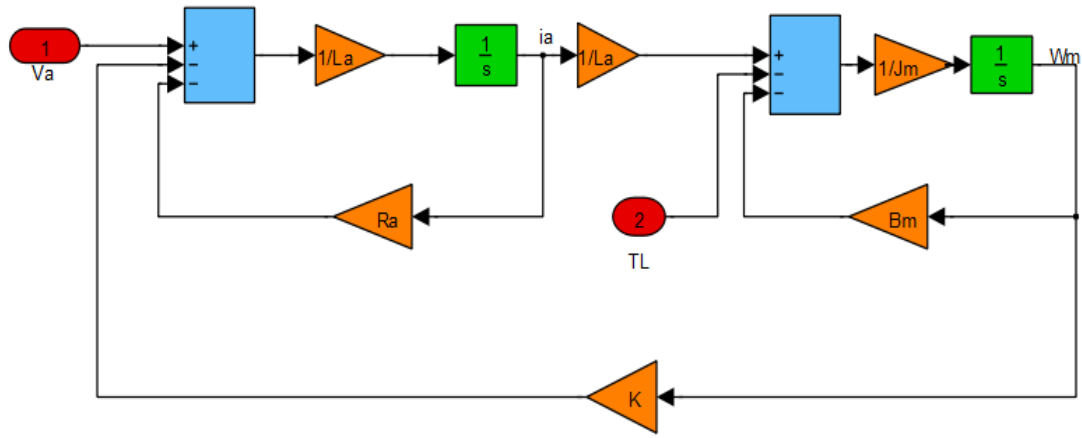
PI kontrolörü kapalı-döngü bir sistemle entegre edildiğinde, sistem hatası sıfır olana kadar kontrol etkisinin değişimine sebebiyet verecektir. PI denetleyicinin en büyük avantajı sistemde kalıcı durum hatasının olmadığı, kolay uygulanabilirliği ve katsayılar en ideal değerlerde seçildiğinde hızlı tepki verebilmesi gösterilebilir. Ayrıca PI kontrolcü sistemin çalıştırılmak istenen referans değerlerde hızlı ve hassas bir şekilde çalışmasına olanak sağlar.



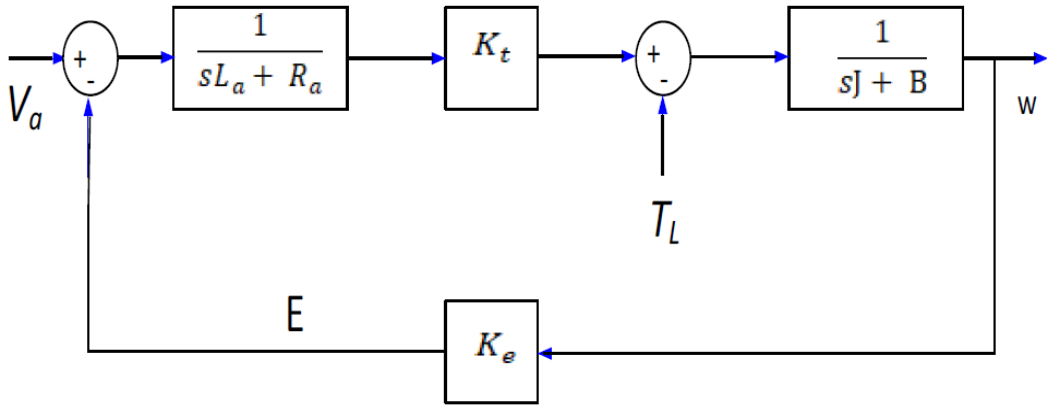
4. BULGULAR

4.1. Simülasyon (Benzetim) Sonuçları

Simülasyon çalışmalarında PI kontrolcü kullanarak doğru akım (DA) motor hız kontrolü elde edilmeye çalışılmıştır. Şekil 4.1.'de sürekli mıknatıslı doğru akım (DA) motorunun MATLAB/Simulink modeli ve Şekil 4.2.'de sürekli mıknatıslı doğru akım (DA) motorun transfer fonksiyonu gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Sürekli mıknatıslı doğru akım (DA) motorunun MATLAB/Simulink modeli.

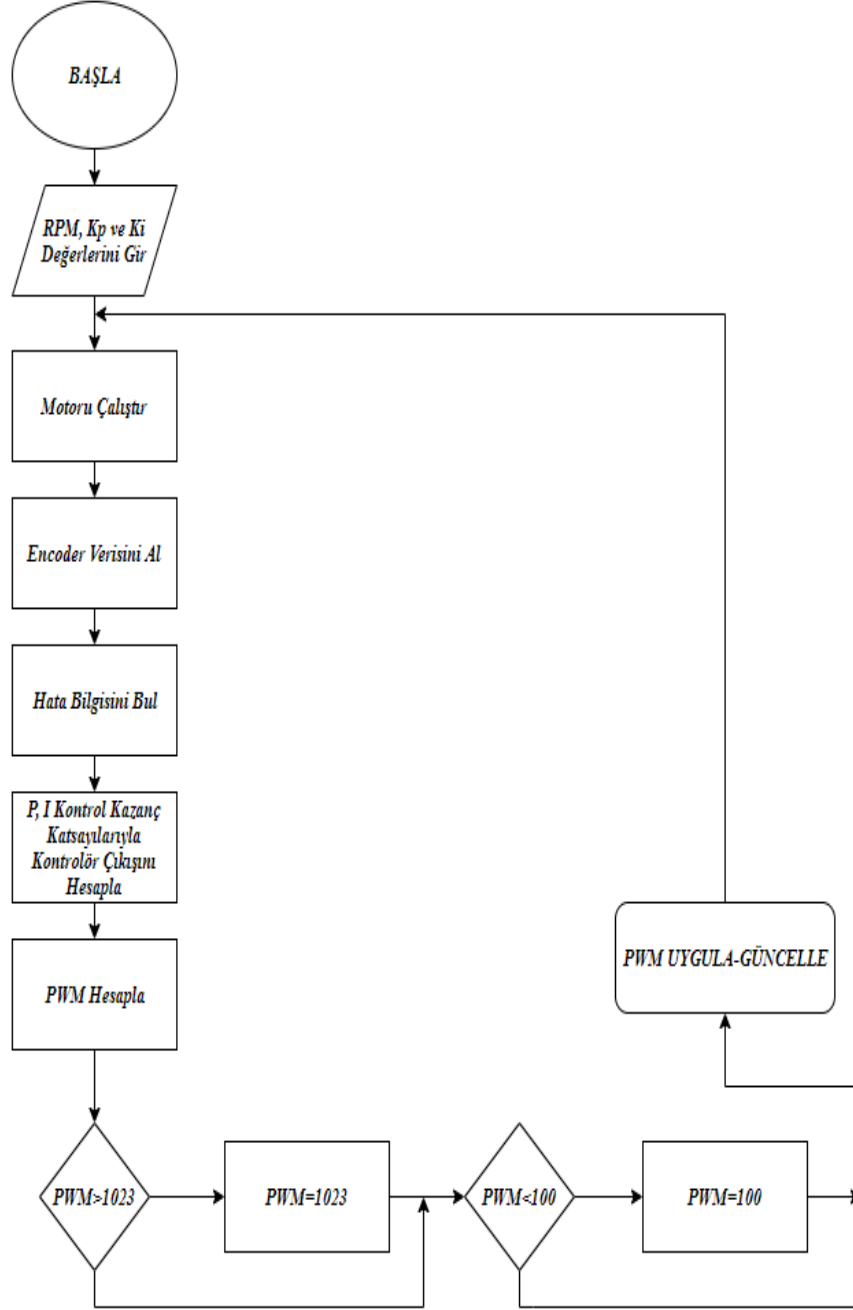


Şekil 4.2. Sürekli mıknatıslı doğru akım (DA) motorun transfer fonksiyonu (Hataş, 2018).

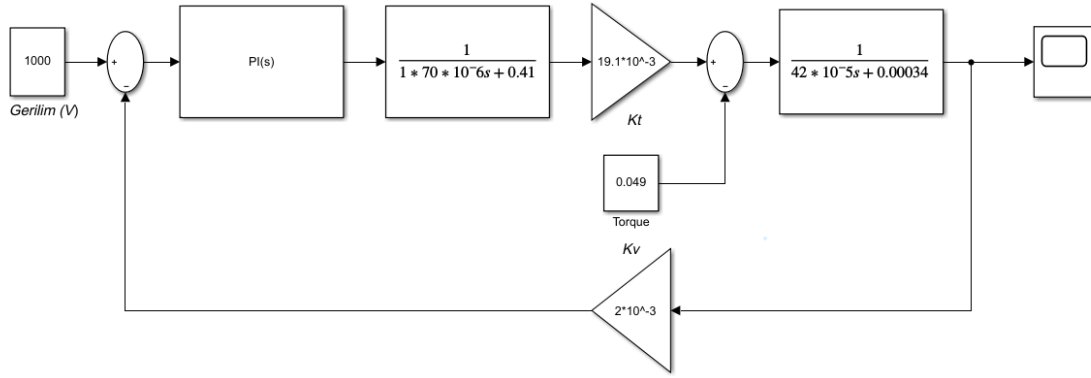
Kapalı Çevrim Transfer Fonksiyonuna T_s diye adlandırırsak;

$$T_s = \frac{Kt/(La.J)}{s^2 + s\left(\frac{Ra}{La} + \frac{B}{J}\right) + \frac{Ra.B + Ke^2}{La.J}} \text{ denklemi doğrultusunda,}$$

Şekil 4.3.'te gösterilen, Android uygulamayla doğru akım (DA) motorun PI hız kontrolünün PIC akış şeması verilmiştir.



Şekil 4.3. Android uygulamayla doğru akım (DA) motorun PI hız kontrolünün PIC akış şeması.

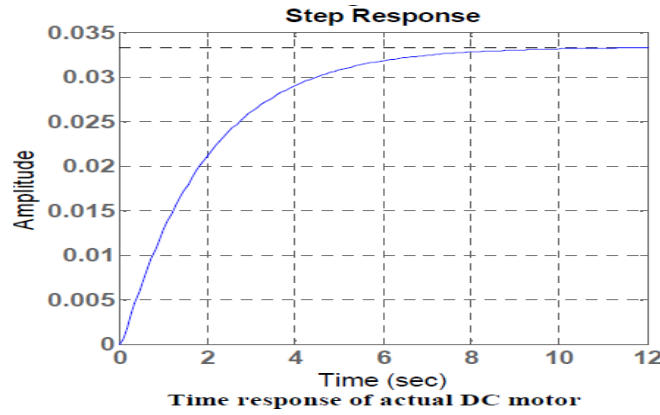


Şekil 4.4. Uygulamada kullanılan doğru akım (DA) enkoder motorunun parametreleri girilerek elde edilmiş MATLAB/Simulink transfer fonksiyonu.

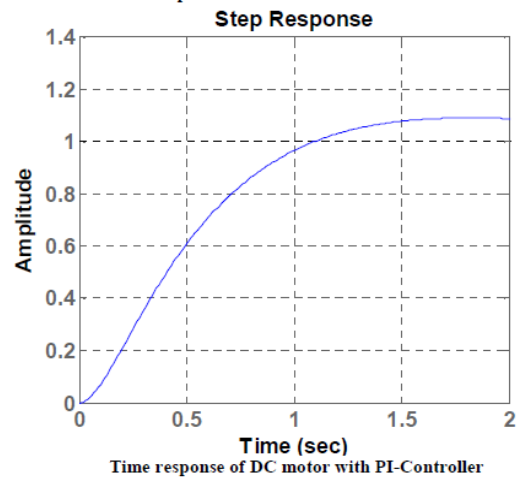
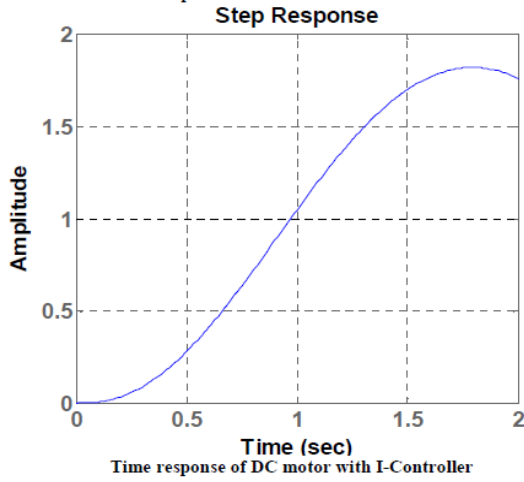
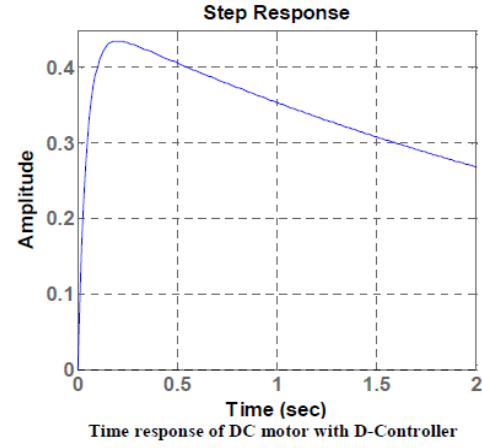
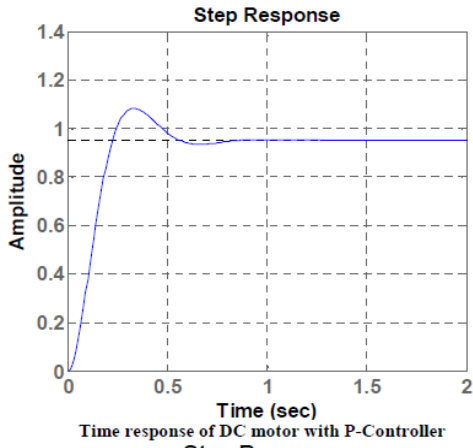
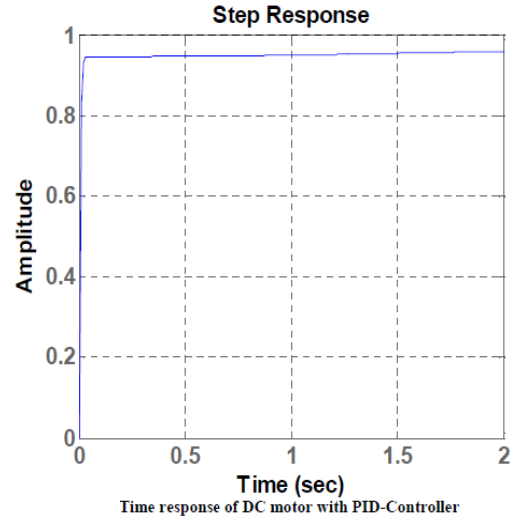
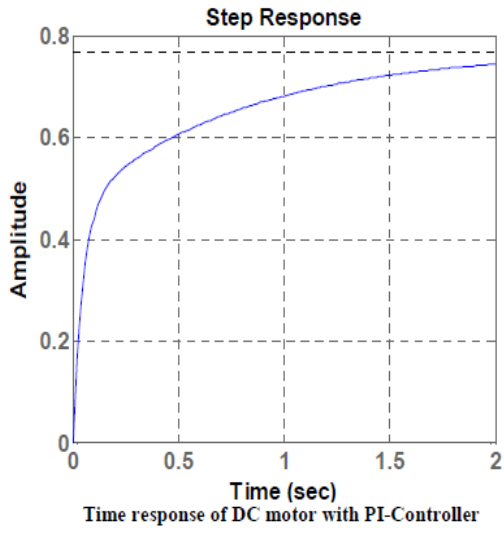
Şekil 4.4'te uygulamada kullanılan doğru akım (DA) enkoder motorun, Çizelge 4.1'deki parametre değerlerine göre MATLAB/Simulink ile elde edilmiş motorun blok diyagramı ve transfer fonksiyonu verilmiştir.

Çizelge 4.1. Uygulamada kullanılan doğru akım (DA) enkoder motorun transfer fonksiyon parametreleri.

<i>Parametreler</i>	<i>Değerler</i>	<i>Birim</i>
Endüvi endüktansı	7×10^{-6}	Henry (H)
Endüvi direnci	0.41	(Ohm (Ω))
Rotor ataleti (J)	42×10^{-5}	N.m ²
Viskoz sürtünme katsayısı (B)	0.00034	N.m/rad/s
Moment katsayısı (K_t)	0.0191	N.m/A
Gerilim katsayısı (K_v)	0.02	V/A-rad/s
Sürtünme momenti	0.049	N.m



Şekil 4.5. MATLAB/Simulink ile elde edilmiş gerçek doğru akım (DA) motorunun zaman yanıtı (Vimalakeerthy, 2015).



Şekil 4.6. MATLAB/Simulink ile transfer fonksiyonu yardımıyla elde edilmiş doğru akım (DA) motorun P, I, D, PI ve PID kontrolör zaman yanıtları (Vimalakeerthy, 2015).

Yukarıda Şekil 4.5. ve Şekil 4.6'da MATLAB/Simulink ile elde edilmiş gerçek doğru akım (DA) motorun simülasyon (benzetim) sonuçları verilmiştir.

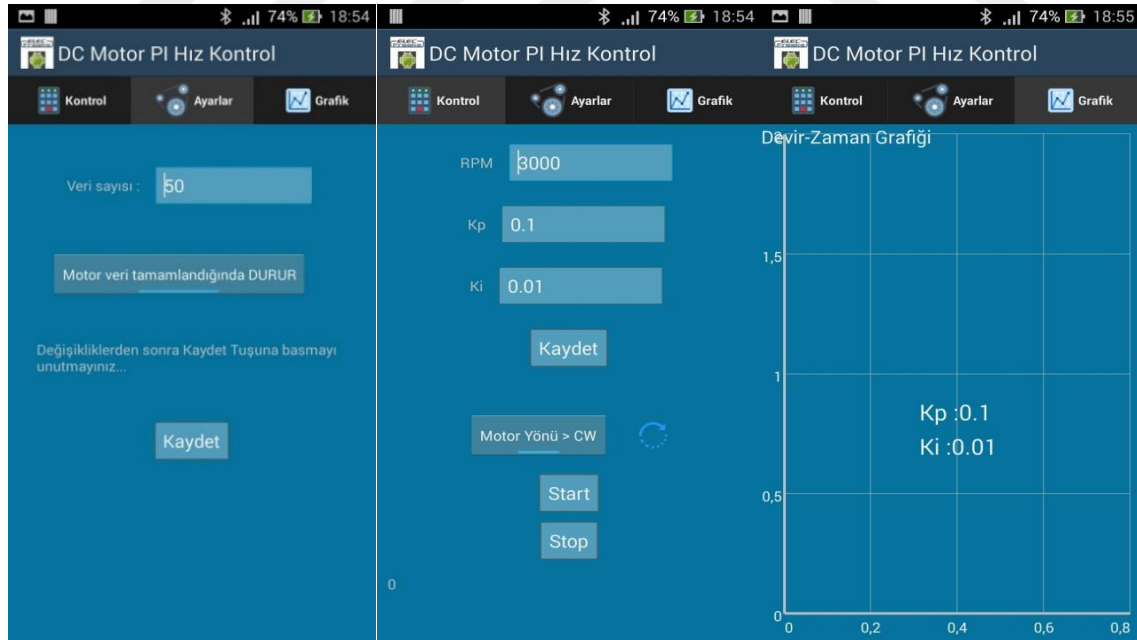
4.2. Uygulama Sonuçları

Android bir cihazla DA motorun PI hız kontrolünü yaparak devir/zaman grafiklerini referans alınan hızlara göre çizdirilmiş olup uygulamanın asıl amacı seçilen DA motorun en ideal çalışma şartlarında nasıl kontrol edildiğini gözlemlemektir. Doğru akım motor PI kontrolü için kullanılan android uygulaması üç bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde, PI kontrolle ilgili ayarlar bulunmakta olup, referans devir, K_p ve K_i parametrelerinin ayarları yapılmaktadır. Bu bölümde motor dönüş yönü de ayarlanmaktadır. Motoru başlatma ve durdurmak için iki ayrı tuş bulunmaktadır. Sol alttaki kısımda enkoderdan alınan veri sayısı gösterilmektedir.

İkinci bölümde, bulunan ayarlar kısmında veri sayısı ayarı ile motorun veri tamamlandığında durup durmayacağı seçenekleri bulunmaktadır.

Üçüncü bölümde, elde edilen veriler grafik olarak gösterilmektedir. Oluşturulan grafik devir zaman grafiğidir. İşlemciden alınan verilerle otomatik olarak oluşturulmakta ve detaylı inceleme için görüntü büyütme ve kaydırma işlevleri de bulunmaktadır. Şekil 4.7.'de android uygulama bölümlerinin görünümü aşağıda verilmiştir.

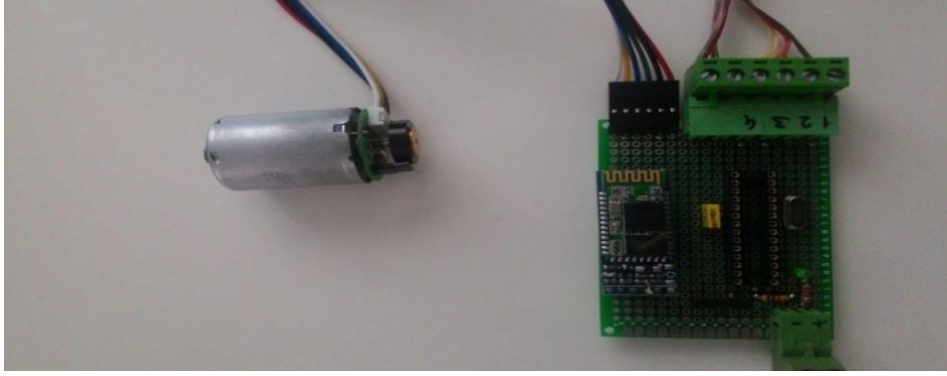


a.

b.

c.

Şekil 4.7. Projede tasarlanan android uygulamanın ara yüzleri a. kontrol, b. ayarlar, c. grafik.



Şekil 4.8. Projede tasarlanan doğru akım (DA) motor ve mikrodenetleyici kartı.

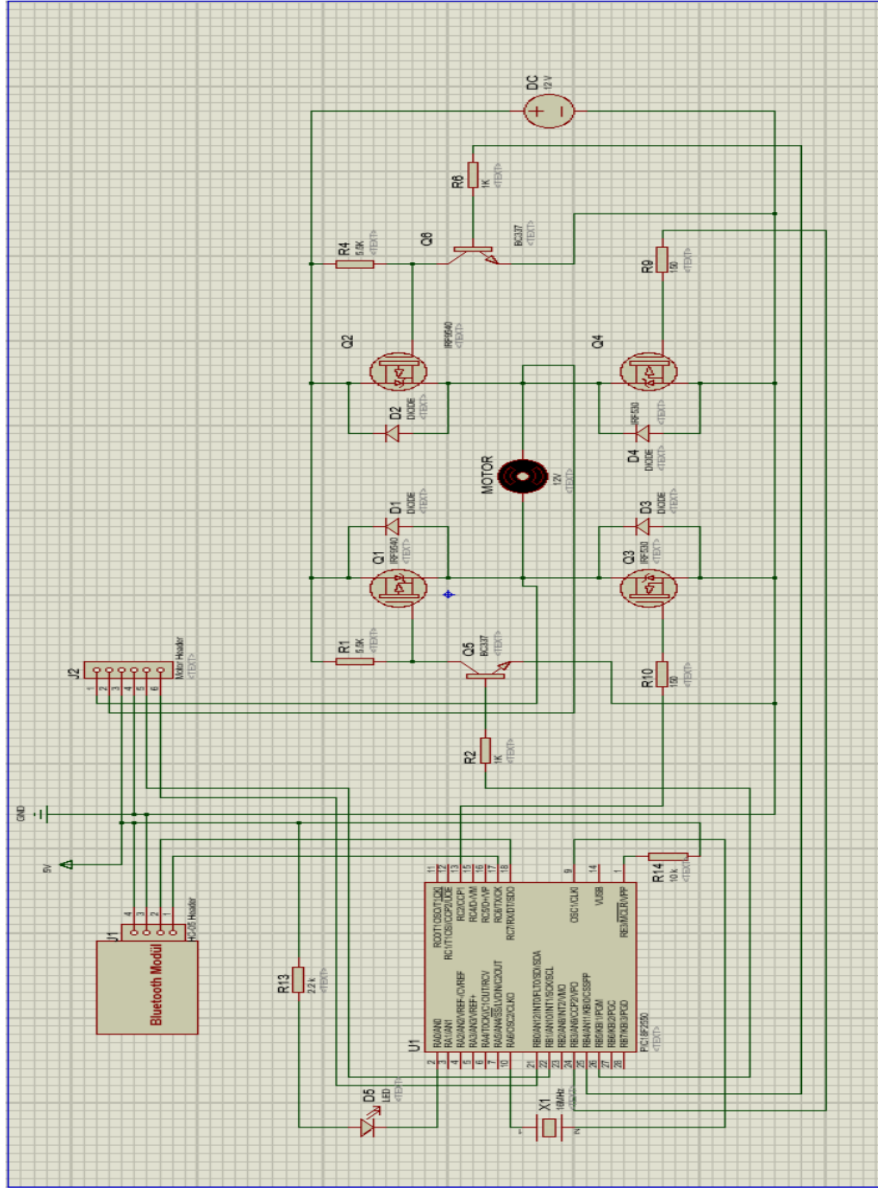
Şekil 4.8’te gösterilen ünite 16 MHz osilatör frekansı ile çalışan 18F2550 mikro işlemcisi kullanılmıştır. İşlemcide 10 bit çözünürlükte iki PWM üretici bulunmakta olup, motor sürücü devremizde bulunan mosfetlerin sürülmesinde kullanılmıştır. Yazılım olarak C dili seçilmiş olup, hazırlanan devrede PI kontrol yapılarak seçmiş olduğumuz doğru akım (DA) enkoder motorun ideal ve kararlı çalışma hızları tespit edilmiştir. Sistemde bulunan motor 12V gerilimle çalışmakta ve maksimum 10200 devir/dk hıza ulaşabilmektedir. Motorun arka bölümünde bir turda 48 saykıl oluşturan enkoder bulunmaktadır. Enkoder geri besleme için kullanılmış olup, işlemcinin dış kesme oluşturan B0 pinine bağlanmıştır. Uzaktan kablosuz bağlantı için HC-05 Bluetooth modülü kullanılmıştır.



Şekil 4.9. Projede tasarlanan H-Bridge devresi.

Şekil 4.9’da verilen uygulamada, 2 adet IRF9540 P kanal ve 2 adet IRF530 N kanal mosfetten oluşan H-Bridge motor sürücü devresinde IRF9540 P kanal mosfetleri sürmek için 2 adet BC337 NPN transistör kullanılmıştır. IRF530 N kanal mosfetler direkt olarak mikrodenetleyicinin çıkışından sürülmüştür. Çalışılan frekanslarda uygulamada kullanılan mosfetlerde herhangi bir aşırı ısınma ve aksaklık görülmemiştir.

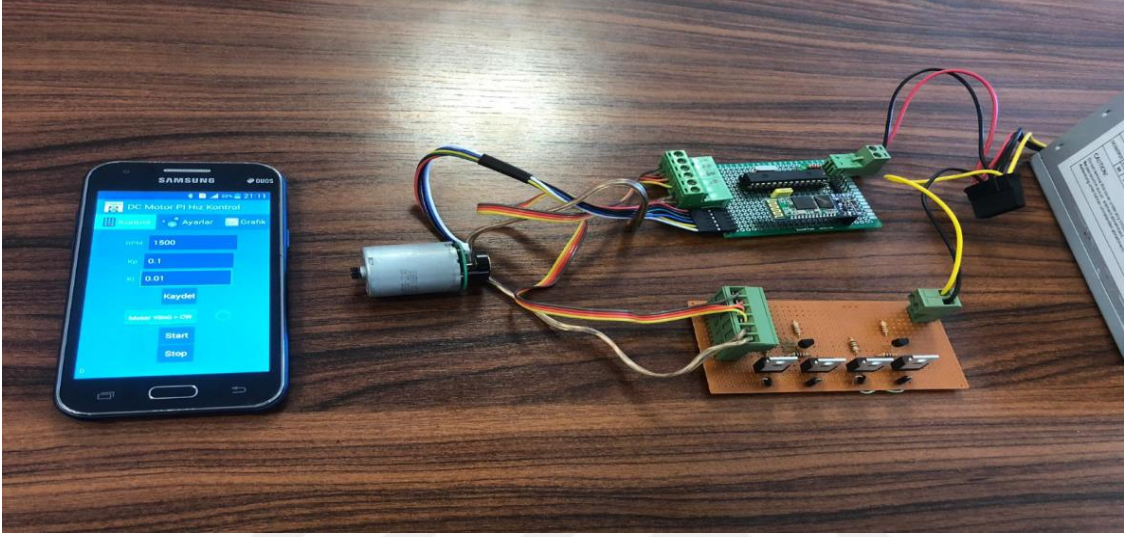
Şekil 4.10'da gösterilen, tasarlanan projenin doğru akım (DA) enkoder motor PI kontrol devresinin proteus şeması verilmiştir.



Şekil 4.10. Tasarlanan projenin doğru akım (DA) enkoder motor PI kontrol devresinin Proteus şeması.

Doğru akım enkoder motorun devir hızı ve PI kontrolde kullanılacak K_p ve K_i değerleri kontrol ekranından girilerek, motorun dönüş yönü belirlenmekte ve başlatma tuşuna basılarak ilk hareket verilmektedir. Motorun ilk hareketini sağlamak için PWM duty cycle 350 olarak belirlenmiştir. Her turda PI kontrolü yapılmış olup. Oluşan hata oranı ve bir turun tamamlanma zamanı Timer1 sayacından elde edilen bilgi ile tespit edilmiştir.

Oluşturulan PI update fonksiyonunda, elde edilen değerler ile PI kontrolü sonucunda uygulanacak PWM duty cycle oranı belirlenmiş olup, her devir sonunda sisteme uygulanmıştır. Şekil 4.11’de verilen, android uygulamayla DA enkoder motorun PI hız kontrolünün PIC ile tasarlanan devrenin tamamı gösterilmiştir.

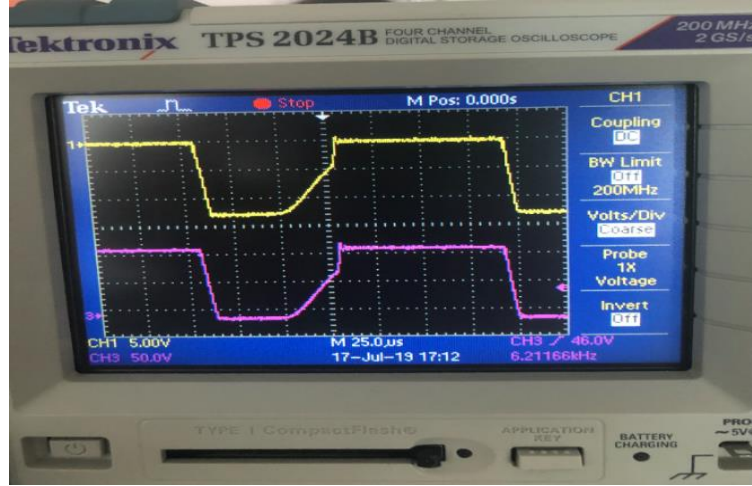


Şekil 4.11. Android uygulamayla doğru akım (DA) enkoder motorun PI hız kontrolünün PIC ile tasarlanan devrenin tamamı.

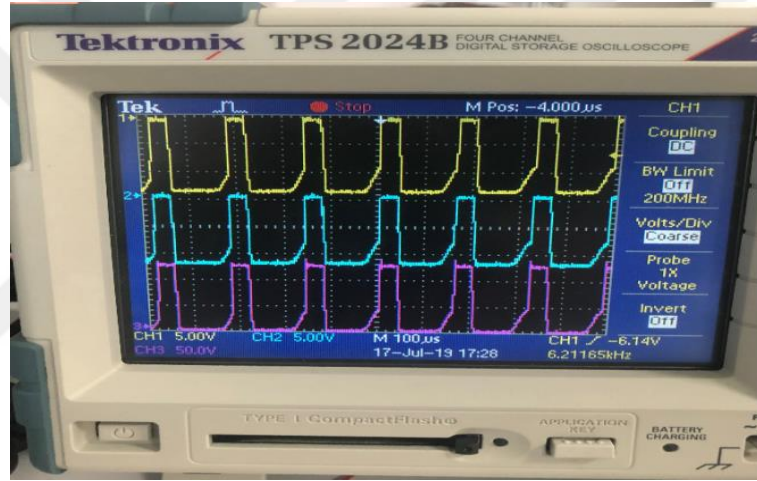
Şekil 4.12., Şekil 4.13., Şekil 4.14’te verilen dijital osiloskop görüntüleri uygulamada tasarlanan DA motor ve mosfet (V_M , V_{DS1} , V_{DS2} , V_{DS3} , V_{DS4}) gerilimleridir. Proje kapsamında tasarlanan devre üzerinde yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar aşağıda Şekil 4.15. , Şekil 4.16. , Şekil 4.17. , Şekil 4.18. , Şekil 4.19. ve Şekil 4.20’de verilmiştir.

Uygulama kapsamında yapılan deneylerde kullanılan DA enkoder motorun 10200 devir/dakika olduğu ayrıca sabit mıknatısın çok güçlü olması nedeniyle DA motoru ilk kalkış anında yüksek akıma ihtiyaç duymaktadır. Tasarımda kullanılan DA enkoder motor devrinin çok yüksek olmasından dolayı uygulama sonuçlarında görüldüğü üzere motor kalkış sırasında motor devrinin ani olarak aşırı yükselip hızlı bir şekilde istenilen referans hıza ulaştığı gözlemlenmiştir.

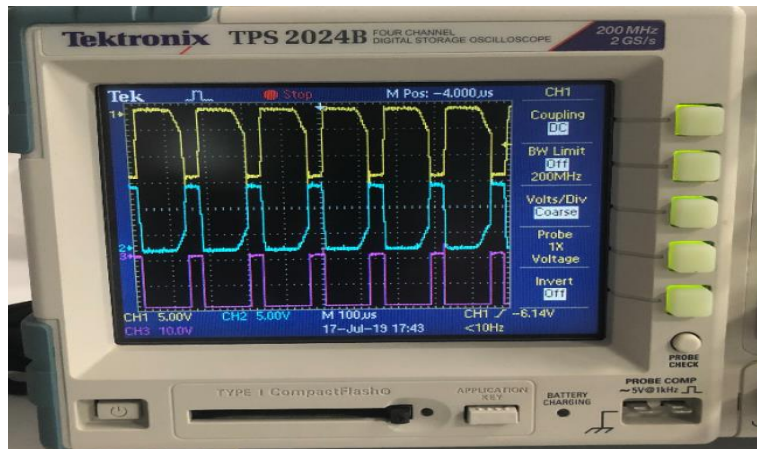
Şekil 4.20’de verilen, android cihazdan RPM: 3000 dev/dak, Kp: 0.1-0.2 ve Ki: 0.01 ve motor miline yük uygulanması sonucu elde edilen sonuçlar incelendiğinde, PI kontrolcü sayesinde sistem tarafından motor miline uygulanan yüke rağmen en kısa sürede ayrıldığı referans hıza sürekli dönmeye çalıştığı görülmektedir.



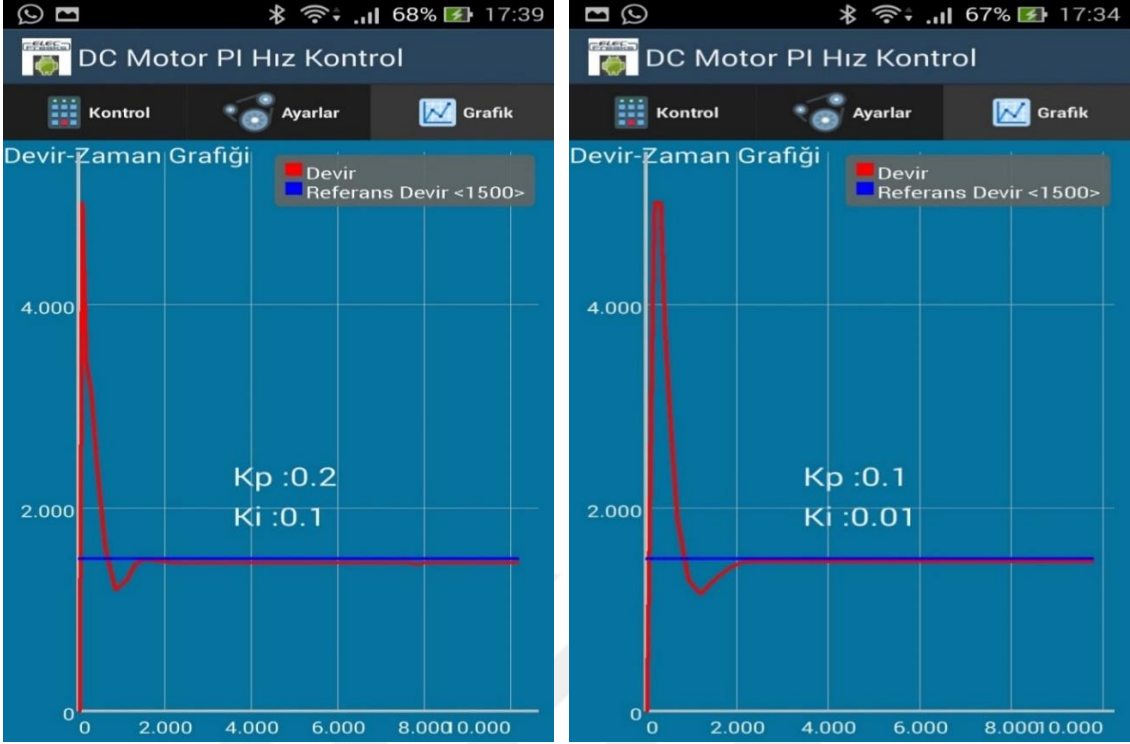
Şekil 4.12. H-Bridge motor sürücü devresinin dijital osiloskop görüntüleri (V_M , V_{DS})



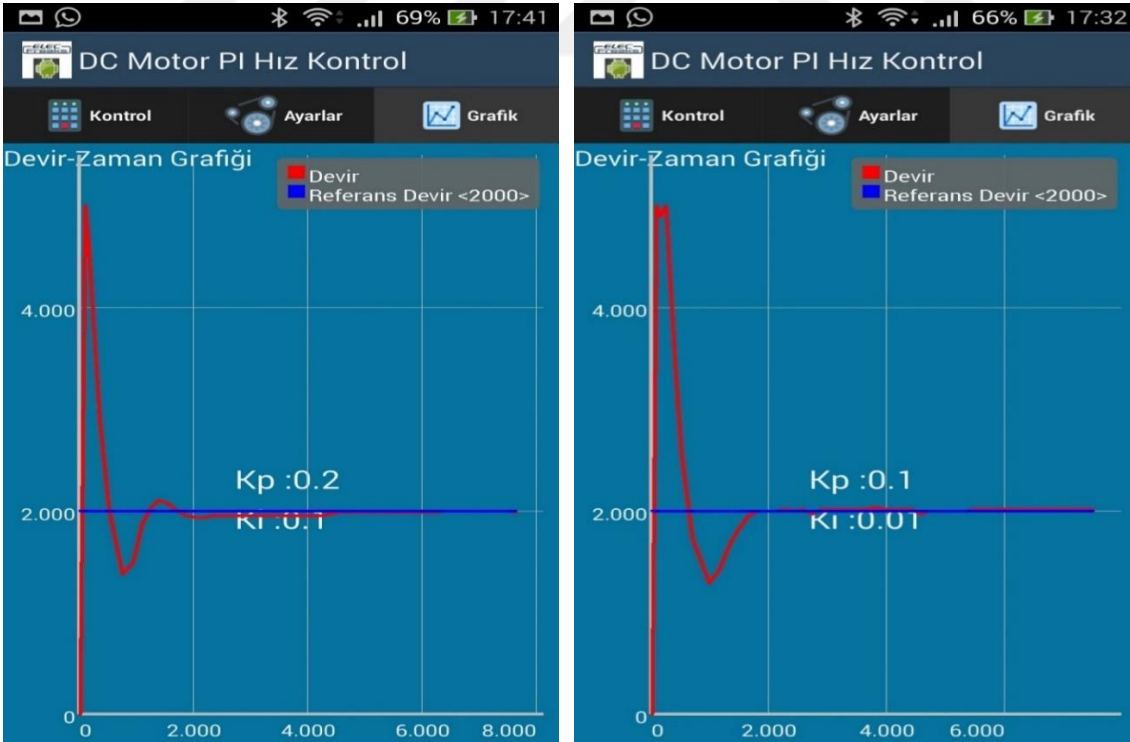
Şekil 4.13. İleri yönde H-Bridge motor sürücü devresinin dijital osiloskop görüntüleri (V_M , V_{DS1} , V_{DS4})



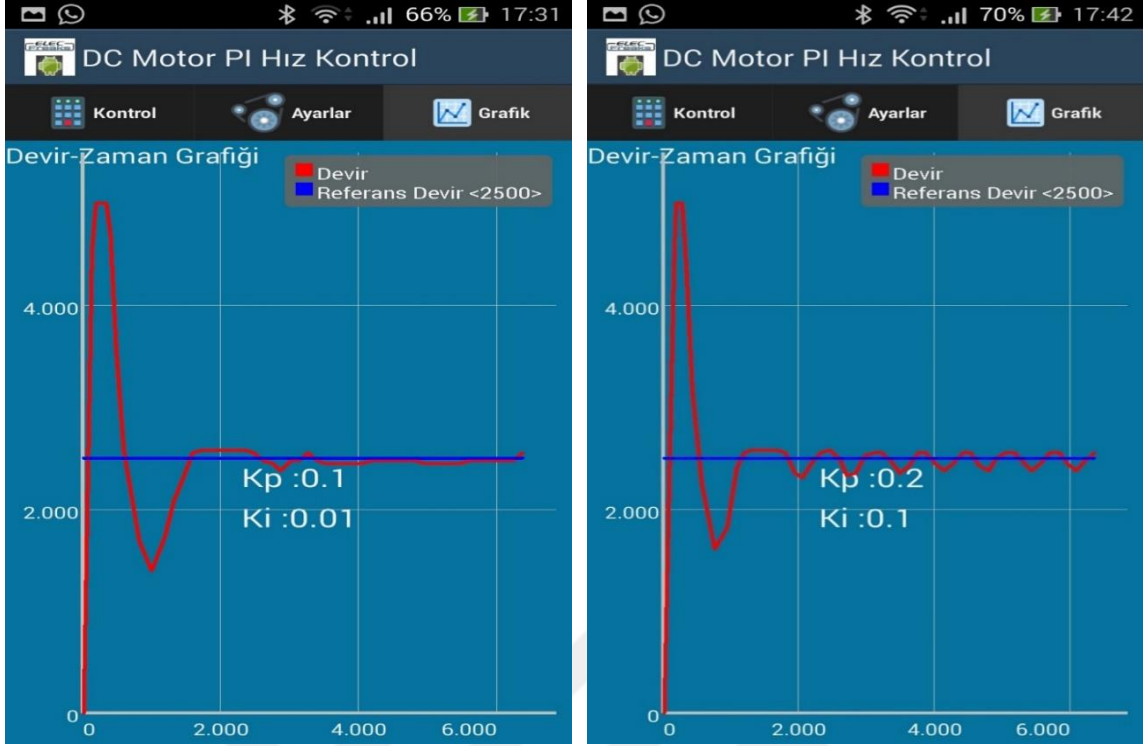
Şekil 4.14. Ters yönde H-Bridge motor sürücü devresinin dijital osiloskop görüntüleri (V_M , V_{DS2} , V_{DS3})



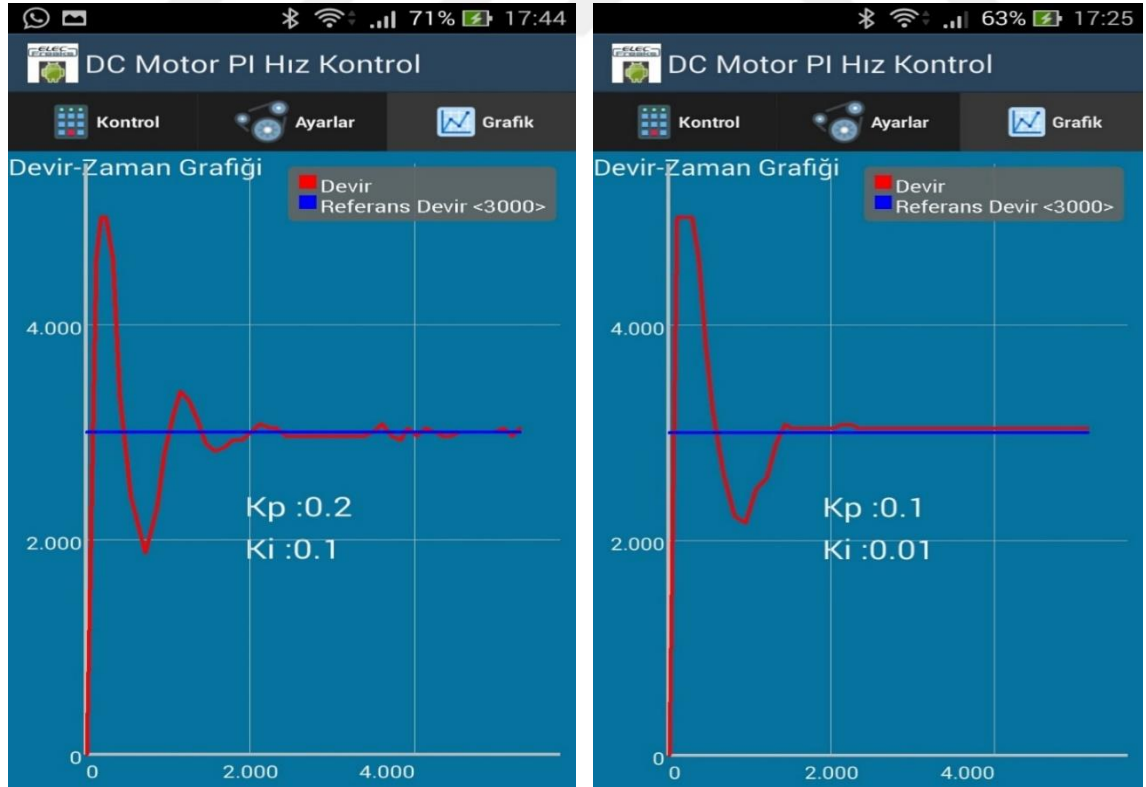
Şekil 4.15. Android cihazdan rpm: 1500 dev/dak, K_p : 0.1-0.2 ve K_i : 0.01 için alınan sonuçlar.



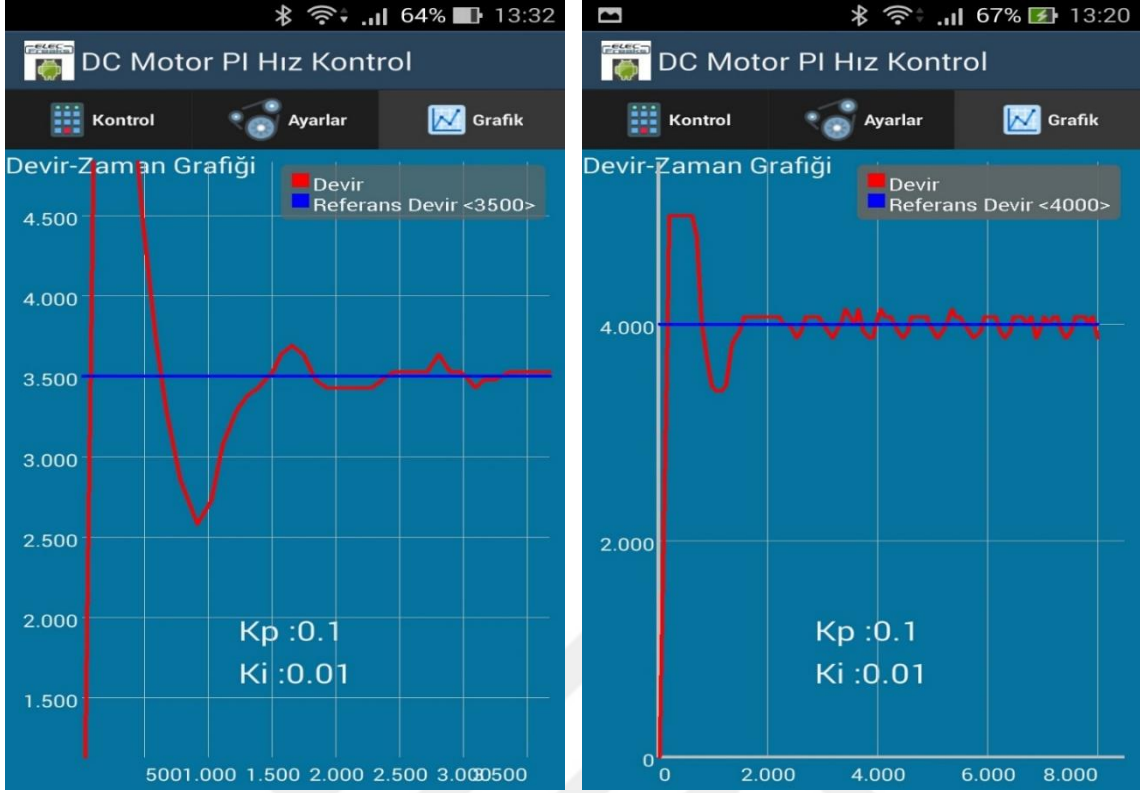
Şekil 4.16. Android cihazdan rpm: 2000 dev/dak, K_p : 0.1-0.2 ve K_i : 0.01 için alınan sonuçlar.



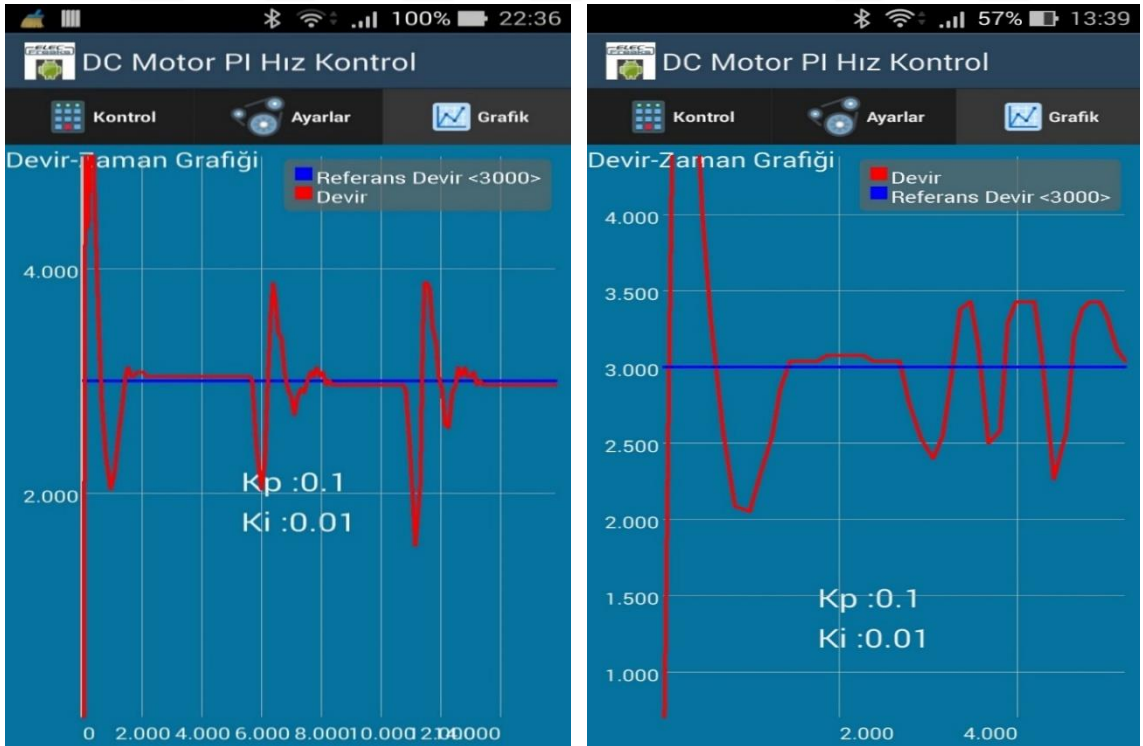
Şekil 4.17. Android cihazdan rpm: 2500 dev/dak, K_p : 0.1-0.2 ve K_i : 0.01 için alınan sonuçlar.



Şekil 4.18. Android cihazdan rpm: 3000 dev/dak, K_p : 0.1-0.2 ve K_i : 0.01 için alınan sonuçlar.



Şekil 4.19. Android cihazdan rpm:3500-4000 dev/dak, K_p : 0.1 ve K_i : 0.01 için alınan sonuçlar.



Şekil 4.20. Android cihazdan rpm: 3000 dev/dak, K_p : 0.1-0.2 ve K_i : 0.01 ve motor miline yük uygulanması sonucu elde edilen sonuçlar.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında DA motorunun Android işletim sistemine sahip bir cihaz ile uzaktan hız kontrolünün yansıra geliştirilen arayüz yazılımı ile motor hızının izlenmesi ve görüntülenmesi sağlanmıştır. Ayrıca DA motorun matematiksel modellenmesi yapılarak transfer fonksiyonu elde edilmiştir. DA motorun hız kontrolünde PI (Oransal-İntegral) kontrol yöntemi kullanılmıştır. Modellemesi yapılan DA motorun hız kontrolünün benzetim çalışmaları tamamlandıktan sonra, deneysel çalışmaları yapılarak sonuçlar aktarılmıştır. Çalışmada gerekli olan PWM anahtarlama sinyalleri PIC-18F2550 mikrodenetleyicisi kullanılarak herhangi bir analog devre elemanına ihtiyaç duyulmadan üretilmiştir. Ayrıca analog referans sinyalin sayısal sinyale dönüştürülebilmesi için ayrı bir analog/sayısal dönüştürücüye de ihtiyaç duyulmamıştır. Uygulamada kullanılan mikrodenetleyiciye (PIC-18F2550) yazılan program ile hem PWM sinyalleri üretilmiş hem de analog/sayısal dönüşüm yapılmıştır. Böylece bir PI kontrol için gerekli olan tüm ihtiyaç ve istekler mikrodenetleyici olarak kullanılan PIC-18F2550 tarafından elde edilmiştir. Sistem analog elemanlardan arındırılarak, sistemin olası kayıpları ve hataları azaltılmıştır. Mikrodenetleyici (PIC-18F2550) kullanılarak üretilen PWM sinyalleri H-Bridge sürme devresi yardımıyla doğru akım enkoder motor üzerinde kullanılmıştır. Tasarlanan bu sürme devresindeki PWM sinyalleri, her güçteki yarı iletken anahtarlama elemanı olan (BJT ve MOSFET) sürme ve kontrol edebilme özelliğine sahip olabilmektedir. Yapılan çalışmada yarı iletken anahtarlama elemanları olarak kullanılan MOSFET'lerin 20 kHz anahtarlama frekans değerinde çalışma özelliğine sahiptirler. Yüksek frekanslarda yapılacak anahtarlama ile DA motorunun devir sayısı kontrolü için daha iyi hassasiyet ve hızlı tepki verme elde edilebilir. Anahtarların üzerlerindeki güç kayıpları, özellikle anahtarlama kayıpları, rezonans devreler kullanılarak azaltılabilir. Uygulamada elde edilen deneysel sonuçlara göre, gerçekleştirilen android tabanlı mikrodenetleyici PIC-18F2550 yardımıyla PI kontrollü DA enkoder motor hız kontrolü devresinin basit, kullanışlı, ekonomik, hassas ve değişik uygulamalara çok hızlı bir şekilde uyarlanabilir olduğu gösterilmiştir.

Yapılan uygulama çalışmalarında DA enkoder motoru üzerine monte edilmiş olan enkoderdan bir turda 48 saykıl veri alınarak hız değeri geri besleme sistemi yardımıyla PI denetleyiciye aktarılmıştır. Böylece hem DA motorun H-Bridge devresiyle sürülmesi,

hem de geri beslemeli olarak hız kontrolü sağlanmıştır. Doğru akım motorunun endüvi gerilimi yarı iletken anahtarlama elemanları olan MOSFET anahtarlar ile kontrol edilmiştir. Sisteme enerji verildiğinde DA motoru kalkış yaparak motor hızı referans hız değerine kadar yükselip PI kontrolör sayesinde bu değerde sabit kalmaya çalışmaktadır. Referans hız değeri arttıkça DA motora uygulanan PWM sinyallerinin ortalama genliği de artmaktadır. Tersine, motorun referans hız değeri azaldıkça, motora uygulanan PWM sinyallerinin ortalama genliği de azalmaktadır. Doğru akım motor hızının referans hızı izlemesi ve uygun PWM sinyalinin üretilmesi, geri beslemeli PI kontrolör etkisiyle sistem tarafından otomatik olarak cevap verilir.

Proje kapsamında PI kontrolör kullanılarak tasarlanan DA enkoder motor hız kontrolü devresinin hız değerlerinin kararlı duruma ulaşma süreleri, hem referans hız değerlerine, hem de PI denetleyicinin tepkisine bağlı olduğu yapılan uygulamalı sonuçlarda görülmüştür. Tasarlanan sistemin 1500-3000 devir/dakika hızlarda verilen K_p ve K_i değerlerine bağlı olarak yaklaşık 1,5-2 saniye içinde kararlı hale geçtiği gözlemlenmiştir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan devrede Android uygulama yardımıyla kablosuz uzaktan çalıştırılan DA enkoder motorun miline yük uygulandığında DA enkoder motorun en kısa sürede ayrıldığı referans hıza sürekli dönmeye çalıştığı yapılan uygulama sonuçlarında gözlemlenmiştir. PI kontrolör sayesinde sistemin en ufak hız değişimlerine bile çok hassas bir şekilde geri beslemeli kapalı çevrim sistemiyle çok hızlı cevap verdiği görülmüştür. Daha küçük K_p ve K_i değerlerinde, sistemin daha kısa sürede kararlı hale geldiği yapılan deneylerde tespit edilmiştir.

Uygulamada tasarlanan sistem ile PI kontrolü yapılan DA motorun en ideal ve kararlı çalışma aralığına en hassas ve hızlı şekilde ulaştığı simülasyon (benzetim) ve uygulamada tasarlanan devrede incelenmiş olup elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Ayrıca DA motor hız kontrolü uygulaması çalışmalarında HC-05 Bluetooth modülü kullanılarak Android işletim sistemi tabanlı (telefon, tablet vb.) elektronik cihazların sisteme dahil edilerek motorun uzaktan otomatik olarak geri beslemeli kontrolü yapılmaktadır. Bu uygulama ve benzeri uygulamalara GPRS ya da WİFİ modüllerinin entegre edilmesiyle günümüzde gelişen teknolojiyle kullanımı artan Android, İOS gibi işletim sistemi tabanlı elektronik cihazların sanayi ve endüstriyel uygulamalara dahil

edilmesiyle, bir sistemi uzaktan örneğin; evden, arabadan ya da işyeri dışından söz konusu sistemin izlenebileceği ya da kontrol edilebileceği ortaya konmuş ve bu sayede insan üzerine düşen iş yükünün azaltılabileceği belirtilmiştir. Yapmış olduğumuz bu çalışmanın literatürde mevcut benzer çalışmalarla kıyaslayacak olursak;

Nagpal ve ark. (2015), yaptıkları çalışmada yaygın olarak endüstriyel ve gelişen teknolojiyle kontrolü daha kolay olan DA motorda hız, yön ve tork kontrolünü geleneksel orantılı performans integral kontrol ve bulanık mantık denetleyicisi yöntemleri uygulandığı görülmüştür. DA motor parametreleri belirlenerek MATLAB/Simulink modellenmesi yapıldığı, DA motor hız PI kontrolü için K_p ve K_i parametreleri kontrolü sağlamak için sürekli ayarlanması gerektiğinden daha iyi yanıt almak için kendinden ayarlı bulanık PI ile çevrimiçi daha iyi kontrol imkanı sağlamıştır. Böylece PI denetleyici otomatik olarak hız hatasına uygun parametreler sisteme girileceği için sistem daha çabuk cevap verecektir. Benzetim sonuçları karşılaştırıldığında konvansiyonel PI kontrolöre göre kendinden ayarlamalı PI denetleyici daha iyi bir performansa sahip olacağı, kendiliğinden yapılan FLC, daha kısa sürede daha dinamik tepkiye sahiptir. Tepki süresi daha kısa, küçük aşma zamanı ve yüksek hassasiyete sahip olduğu üzerinde durulmuştur.

Gavran ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada doğru akım (DA) motorun hız kontrolü için PI kontrolünün yapıldığı, MATLAB Simulink ortamında simülasyon sonuçları incelendiğinde, DA motorun hız, yön ve tork kontrolünü geleneksel orantılı performans integral kontrolünün uygulandığı, DA motor parametreleri belirlenerek MATLAB Simulink modellenmesi yapıldığı, DA motor kontrolörün blok şemasının MATLAB/Simulink ile elde edildiği, DA motor hız PI kontrolü için $P = 1$, $I = 1$, değerleri için 1000 RPM motor hızında 3 saniye yüke verilen tepki ölçülmüş bu zamandan sonra motor tekrar kontrol edildiği hıza yani 1000 RPM hızına döndüğünü gösteren simülasyon deney sonuçlarının üzerinde durulduğu, motor kontrol ünitesinin daha dinamik olması için P ve I parametrelerinin değiştirilerek sistem kontrolünün en uygun sonuçlarına değinilmiştir.

Jambulingam (2016), yaptığı çalışmada doğru akım (DA) motorun konum kontrolünü PI kontrolör kullanarak yapıldığı, endüstriyel uygulamalarda yüksek performans gerektiren motor sürücülerine ihtiyaç duyulduğu, DA motor kontrolörün ayarlanabilir bir hız makinası olarak kullanılabilceği ayrıca DA motorların avantajları titreşimsiz çalışmaları, sessiz, hızlı verimli olmaları onları bu alanda yaygın olarak

kullanılmaya sebep olduğu, PI kontrolü için dört kural altında gerçekleştirildiği bunlardan birincisinde, DA motorun matematik modelinden neyin iyileştirilmesi gerektiği, ikincisinde, yükselme süresini iyileştirmek için orantı sabitinin eklendiği, üçüncüsünde, integral kontrol sürekli durum hatasını ortadan kaldırmak için kullanıldığı, dördüncüsünde ise, tasarım gereksinimi karşılanıncaya kadar K_p ve K_i değerlerine ayarlamaların yapılması gerektiğine vurgu yapılmıştır.

Yapmış olduğumuz bu çalışmanın farkı ise motor hız kontrolcüsünün katsayılarının ve referans hızın kablosuz uzaktan değiştirilebilmesi ve hız bilgisinin anlık olarak android işletim tabanlı elektronik bir cihazla izlenebilmesi (monitoring) olarak açıklanabilir.



KAYNAKLAR

- Albayrak, Y., Karamancı, K., Çakıl T., Eren İ., 2015. Android cihazlar ile DC motor kontrolü DC motor control via android devices., *EMO Bilimsel Dergi*, **4**: 1309-5501.
- Altun, H., Aydoymuş, Ö., Sünter, S., 2008. Gerçek dört-bölgeli bir DC motor sürücüsünün modellenmesi ve tasarımı. *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, **20** (2): 295-303.
- Ali, M., 2017. Cost effective way to control the speed and direction of DC motor for driving the conveyor., *Asrjets Journal*, **2313**: 364-371.
- Anonim 2019a. <https://antrak.org.tr/genel/pwm-nedir/> Erişim tarihi: 15.05.2019.
- Anonim 2019b. <http://www.mechatronicTurkey.com/d-c-motor-hiz-kontrol-yontemleri/> Erişim tarihi: 15.05.2019.
- Anonim 2019c. <https://320volt.com/pic16f877-dc-motor-hiz-kontrolu-pi-kontrolorlu/> Erişim tarihi: 16.05.2019.
- Anonim 2019d. <https://320volt.com/h-koprusu-calisma-mantigi-l293-l298-motor-surucu/> Erişim tarihi: 17.05.2019.
- Anonim 2019e. [https://www.elektrikport.com/universite/pwm-\(sinval-genislik-modulasyonu\)-teknigi-nedir/](https://www.elektrikport.com/universite/pwm-(sinval-genislik-modulasyonu)-teknigi-nedir/) Erişim tarihi: 18.05.2019.
- Anonim 2019f. https://www.pololu.com/product/3212_encoder_motor/ Erişim tarihi: 19.05.2019.
- Anonim 2019g. <https://tr.scribd.com/document/362118486/PWM/> Erişim tarihi: 20.05.2019.
- Anonim 2019h. https://www.microchip.com/PIC18F2550/Data_Sheet/ Erişim tarihi: 28.06.2019.
- Anonim 2019ı. <https://diyot.net/pwm/> Erişim tarihi: 30.06.2019.
- Arıcı, M., Arslan, A.O., 2013. Self-tuning speed control of permanent magnet DC motor. *Uluslararası Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Konferansı (ELECO)*, 26-28 Şubat 2015, Bursa. 1113-1116
- Ataç, H., 2018. *H-Köprü Sürücü Tabanlı Motor Hız Kontrolü Ve Uygulaması* (yüksek lisans tezi, basılmamış) EÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Bal, G., 2006. *Doğru Akım Makineleri ve Sürücüleri*. 3. Seçkin Yayıncılık, 03-31 Ankara. 207.
- Bharadwaj, S., 2015 Comparative analysis of speed control Techniques of DC motors with matlab., *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, **4** (05): 672-675.
- Bodson, M., 1996. Trends in electronics for electric motor control. *IEEE Control Systems Magazine*, **16** (5): 88-96.
- Castagnet, T., Nicolai, 1992. Digital drive for home appliances. *IEE Colloquium on DC motor Variable Speed Drives and Motion Control*, **6**: 1-4.
- Çepni, M.E., 2010. *Linear Servo Motor ve Kontrolü* (yüksek lisans tezi, basılmamış) EÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Chan, C.C., 1987. Low cost electronic-controlled variable speed reluctance motors. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, **34** (1): 95-100.
- Çolak, İ., Bayındır R., 2005. PIC 16F877 ile DA motor hız kontrolü. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **11** (2): 277-285.

- Çolak, İ., Bayındır, R., 2005. Mikrodenetleyicili PI denetimli DA motoru sürücü devre tasarımı ve uygulaması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **11** (12): 63-67
- Çolak, İ., Bayındır, R., Sefa, 2004. Experimental study on reactive power compensation using a fuzzy logic controlled synchronous motor. *Energy Conversion and Management*, **45** (15-16): 2371-2391.
- Dwivedi, A., 2013. Speed control of DC shunt motor with field and armature rheostat control simultaneously. *Research India Publications*, **3** (1): 77-80.
- Gavran, M., Fruk M., and Vujisić, G., 2017. PI controller for DC motor speed realized with Arduino and simulink. *Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, May 2017, Maribor, Slovenia*.
- Hatem, H.R., 2019. Control of pulse width modulation on direction end speed of DC motor using arduino. *Medwell Journals*, **14** (5): 1493-1497.
- Islam, M.S., Tripathi, V.K., 2016. A study of DC motor speed control through pulse width modulation implemented by Matlab simulation. *IJARCCCE Journals*, **5** (6): 219-223.
- Jambulingam, V., 2016. Position control of DC motor using PI controller. *IJEDR Journals*, **4** (2): 1342-1345.
- Köse, F., Kaplan, K., Ertunç, H.M., 2013. PID ve bulanık mantık ile DC motorun gerçek zamanda STM32F407 tabanlı hız kontrolü. *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*, 26-28 Eylül 2013, Malatya.
- Kofoğlu, M., 2018. <https://muhendistayfa.com/makine-muhendisligi/matlab-destekli-dc-motor-kontrolu/> Erişim tarihi: 16.05.2019.
- Kumari, Swain S., S.K., 2018. Optimal control based PID tuning for control of four quadrant chopper fed DC motor. *Technologies for Smart-City Energy Security and Power (ICSESP)*, 28-30 March 2018, Bhubaneswar, India.
- Kumar, R., Dogra, R., Aggarwal, P., 2017. Modern pedagogy techniques for DC motor speed control. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electronics and Communication Engineering*, **11** (7): 268-272.
- Kurt, F., 2002. PWM sinyali ile DC motor hız kontrolü ve sürücü devresinin ESD etkilerinden korunması. *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **6** (2): 29-32.
- Mutalib, M.A.B.A., 2008. *Speed Control Of Dc Motor Using Pi Controller*. (yüksek lisans tezi, basılmamış) EÜ, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Pahang, Malaysia.
- Nagpal, J., Agarwal R., Shah, M., 2015. A comparative study on different speed control methods of DC drives for electric vehicle. *International Journal of Research (IJR)*, **2** (07): 1-6.
- Ogawa, H., Tanaka, R., Murakami, T., Ishida, Y., 2017. Two-stage control system of a DC motor using dual-sampling observer. *CEAI Journals*, **19** (1): 59-67.
- Özer, T., Kıvrak, S., Oğuz, Y., 2017. H-Bridge DC motor driver design and implementation with using dsPIC30f4011. *International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology*, **6** (10): 75-83.
- Petrua, L., Mazenb, G., 2014. PWM control of a DC motor used to drive a conveyor belt. *Science Direct Journals*, **100** (2015): 299-304.
- Phan, D., 2011. Selecting and implementing H-Bridges in DC motor control. *ECE 480 Design Team Competition*, Spring 2011.

- Patel, P.J., Patel, H.J., Unadkat, A.D., Patel, C.U., Asst.Prof. Bhanderi, S., 2017. PWM based speed control for a DC motor. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*, **06** (04): 665-667.
- Rajan, R.S., 2017. A Comprehensive study on speed control of DC motor with field and armature control. *International Journal of Engineering and Techniques*, **3** (6): 806-810.
- Sen, P.C., 1990. Electric motor drives and control-past, present, and future. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, **37** (6): 562-575.
- Shimpi, M., Mahure, R., Polekar, P., Wavhal, G., Chaudhari, R., 2018. Speed control of DC motor using bluetooth devices. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, **6** (3): 2664-2670.
- Sharma, S., Oberoi, S.S., Nair, S., 2014. Speed control method of DC series motor 2014. *IJIRT Journals*, **1** (6): 1450-1453.
- Singh, S., Dr. A. K. Pandey, Dipraj, 2012. Design of pi controller to minimize the speed error of DC servo motor. *International Journal Of Scientific & Technology Research*, **1**(10): 95-98.
- Solanki, V.S., Jain, V., Kumar A., 2013. Chaudhary different speed control techniques of DC motor: a comparative analysis. *IJLTEMAS Journals*, **2** (7): 112-118.
- Soysal, M., 2007. *Doğru Akım Motorunun Dört Bölge Kontrolünün PIC İle Gerçekleştirilmesi* (yüksek lisans tezi, basılmamış) EÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Vimalakeerthy, D., 2015. Time response analysis of DC motor using armature control method and its performance improvement using PID controller. *European Journal of Advances in Engineering and Technology*, **2** (6): 56-61.
- Weng, W. K., 2010. <https://tutorial.cytron.io/2012/06/22/pid-for-embedded-design/>
Erişim tarihi:19.05.2019.
- Yeniaydın, Y., Sakacı, B., Yaren, T., Süel, V., Kızır,S., 2014. DC motor hız kontrolü için model referans uyarlamalı PID denetleyici tasarımı. *TOK 2014 Bildiri Kitabı*, 11-13 Eylül 2014, Kocaeli. 313-319.
- Yıldırım, D.,2001. <https://web.itu.edu.tr/yildiri1/mylibrary/pwm/2.html> /
Erişim tarihi: 28.06.2018.
- Yıldız, M., 2010. *Kablosuz Haberleşme İle Doğru Akım Motor Kontrolü* (yüksek lisans tezi, basılmamış) EÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yousef, A.Y., Mostafa, M.H., 2016. Dual DC motor speed control based on two independent digital PWM signals using PIC16F877A microcontroller. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, **2** (3): 592-606.
- Yousef, A.Y., Mostafa, M.H., 2015. Bidirectional speed control of DC motor based on pulse width modulation using microcontroller. *2015 IJSRST Journals*, **1** (5): 52-60



EKLER

Ek 1. C dilinde yazılan program

```
/*  
*****  
*****/  
  
#ifndef __18CXX  
#define __18CXX  
#endif  
  
#ifndef __18F2550  
#define __18F2550  
#endif  
  
#include <p18cxxx.h>  
#include <delays.h>  
#include <portb.h>  
#include <timers.h>  
#include <flash.h>  
#include <adc.h>  
#include <pwm.h>  
#include <usart.h>  
#include <EEP.h>  
#include <string.h>  
#include <stdlib.h>  
#include <stdio.h>  
#include <ctype.h>  
#include <math.h>  
#include "d_Config.h"  
#include "d_HardwareProfile.h"  
#include "main.h"  
#include "d_Delay.h"
```

Ek 1. C dilinde yazılan program (devamı)

```
#define SIZE 40          /* taille buffer */

union {
    char chars[4];
    float f;
} u;

unsigned char config1, config2, portconfig, spbrg;

char period = 0x00;

unsigned int duty_cycle;

unsigned int duty_cycle_start = 350;

BYTE i = 0;

BYTE motorY = 0;

BYTE CPR = 48; //Encoder cycle

BYTE EncoderC = 0;

unsigned int MotorR = 0;

BYTE T0i = 0;

unsigned int T1i = 0;

BOOL EnableUART = FALSE;

float Kp = 0;

float Ki = 0;

float RPM = 0;

float dutyD = 0;

float dutyDD = 0;

float setRPM = 0;

float pRPM = 0;

float err = 0;

float integral = 0;

float dT = 0;

unsigned char temp;
```


Ek 1. C dilinde yazılan program (devamı)

```

unsigned char Buffer[60];

unsigned char i, Cnt = 0;

/** VECTOR REMAPPING
*****/

#if defined(__18CXX)

//On PIC18 devices, addresses 0x00, 0x08, and 0x18 are used for
//the reset, high priority interrupt, and low priority interrupt
//vectors. However, the current Microchip USB bootloader
//examples are intended to occupy addresses 0x00-0x7FF or
//0x00-0xFFFF depending on which bootloader is used. Therefore,
//the bootloader code remaps these vectors to new locations
//as indicated below. This remapping is only necessary if you
//wish to program the hex file generated from this project with
//the USB bootloader. If no bootloader is used, edit the
//usb_config.h file and comment out the following defines:
//#define PROGRAMMABLE_WITH_USB_HID_BOOTLOADER
//#define
PROGRAMMABLE_WITH_USB_LEGACY_CUSTOM_CLASS_BOOTLOADER

#define REMAPPED_RESET_VECTOR_ADDRESS      0x00
#define REMAPPED_HIGH_INTERRUPT_VECTOR_ADDRESS      0x08
#define REMAPPED_LOW_INTERRUPT_VECTOR_ADDRESS      0x18

#pragma code REMAPPED_HIGH_INTERRUPT_VECTOR =
REMAPPED_HIGH_INTERRUPT_VECTOR_ADDRESS

void Remapped_High_ISR(void) {
    _asm goto bTKHighPriorityISRCode _endasm
}

#pragma code REMAPPED_LOW_INTERRUPT_VECTOR =
REMAPPED_LOW_INTERRUPT_VECTOR_ADDRESS

void Remapped_Low_ISR(void) {
    _asm goto bTKLowPriorityISRCode _endasm }

```

Ek 1. C dilinde yazılan program (devamı)

```
#pragma code
//These are your actual interrupt handling routines.
#pragma interrupt bTKHighPriorityISRCode
void bTKHighPriorityISRCode() {
    if (PIR1bits.TMR1IF == 1) {
        T1i++;
        WriteTimer1(0xFC18);
        PIR1bits.TMR1IF = 0;
    }
    if (INTCONbits.INT0IF == 1) {
        //WriteTimer0(0xFF); //0xFF
        if (PIE1bits.TMR1IE == 0) {
            PIE1bits.TMR1IE = 1; // Enable TMR1 interrupts
            PIR1bits.TMR1IF = 0;
        }
        EncoderC++;
        if (EncoderC > 46) {
            //mOUT_0_Toggle();
            if (T1i < 48) T1i = 48;
            MotorR = T1i;
        }
        T1i = 0;
        EncoderC = 0;
        PI_Update(MotorR);
        if (EnableUART) UART_WriteInt(MotorR);
    }
    INTCONbits.INT0IF = 0;
}
```

Ek 1. C dilinde yazılan program (devamı)

```

if (PIR1bits.RCIF == 1) // Is this a UART receive interrupt ?
{
    temp = ReadUSART(); // Read the received character
    PIR1bits.RCIF = 0; // Clear UART interrupt flag
    Buffer[Cnt] = temp;
    Cnt++;
    if (Cnt > 5) {
        mOUT_0_Toggle();
        if (Buffer[0] == MotorCommand) {
            if (Buffer[1] == '0') MotorRun(MotorStop);
            if (Buffer[1] == '1') MotorRun(MotorCW);
            if (Buffer[1] == '2') MotorRun(MotorCCW);
            if (Buffer[1] == '3') EnableUART = FALSE;
            Cnt = 0;
        }
        if (Buffer[0] == SetRound) {
            for (i = 0; i < 4; i++)
                u.chars[3 - i] = Buffer[i + 1];
            RPM = u.f;
            setRPM = RPM;
            Eeprom_Write_Float(0x00, RPM);
        }
        Cnt = 0;
    }
    if (Buffer[0] == SetP) {
        for (i = 0; i < 4; i++)
            u.chars[3 - i] = Buffer[i + 1];
        Kp = u.f;
        Eeprom_Write_Float(0x10, Kp);
    }
}

```

Ek 1. C dilinde yazılan program (devamı)

```

    Cnt = 0;
}
if (Buffer[0] == SetI) {
    for (i = 0; i < 4; i++)
        u.chars[3 - i] = Buffer[i + 1];
    Ki = u.f;
    Eeprom_Write_Float(0x20, Ki);
    Cnt = 0;
}
Cnt = 0;
}
}
} //This return will be a "retfie fast", since this is in a #pragma interrupt section
#pragma interruptlow bTKLowPriorityISRCode
void bTKLowPriorityISRCode() {
    //Check which interrupt flag caused the interrupt.
    //Service the interrupt
    //Clear the interrupt flag
    //Etc.
} //This return will be a "retfie", since this is in a #pragma interruptlow section
#endif
//*****
//    MAIN
//*****
#ifdef(__18CXX)
void main(void)
#else
int main(void)

```

Ek 1. C dilinde yazılan program (devamı)

```

#endif
{
    InitializeSystem();
    //MotorRun(MotorCW);
    while (1) {
        // Application-specific tasks.
        // Application related code may be added here, or in the ProcessIO() function.
        ProcessIO();
    }//end while
} //end main
/*****
* Function:    static void InitializeSystem(void)
* PreCondition:  None
* Input:       None
* Output:      None
* Side Effects: None
* Overview:    InitializeSystem is a centralize initialization
*              routine. All required USB initialization routines
*              are called from here.
*              User application initialization routine should
*              also be called from here.
* Note:        None
*****/
static void InitializeSystem(void) {
#if (defined(__18CXX) )
    //Initialise Ports
    //PORT A
    TRISAbits.TRISA6 = 0; //

```

Ek 1. C dilinde yazılan program (devamı)

```
TRISAbits.TRISA5 = 0; //
TRISAbits.TRISA4 = 1; //
TRISAbits.TRISA3 = 0; //
TRISAbits.TRISA2 = 0; //
TRISAbits.TRISA1 = 0; //
TRISAbits.TRISA0 = 0; // LED

//PORT B
TRISBbits.TRISB7 = 0; //
TRISBbits.TRISB6 = 0; //
TRISBbits.TRISB5 = 0; // HB2_OUT
TRISBbits.TRISB4 = 0; // HB1_OUT
TRISBbits.TRISB3 = 0; // PWM2_OUT
TRISBbits.TRISB2 = 0; //
TRISBbits.TRISB1 = 1; // encoderB
TRISBbits.TRISB0 = 1; // encoderA

//PORT C
TRISCbits.TRISC7 = 1; // RX - Set Receive pin for UART RS232
TRISCbits.TRISC6 = 0; // TX - Set as Output UART RS232
TRISCbits.TRISC2 = 0; // PWM1_OUT
TRISCbits.TRISC1 = 0; //
TRISCbits.TRISC0 = 0; //

//Switch all outputs off
PORTA = PORTB = PORTC = 0;
RCONbits.IPEN = 1; // Enable priority levels on interrupts
IPR1bits.TMR1IP = 1;
IPR1bits.RCIP = 1;
INTCON2bits.RBPU = 1; // PullUp disable
CloseTimer0();
```

Ek 1. C dilinde yazılan program (devamı)

```

    CloseTimer1();

    CloseTimer2();

    OpenTimer1(TIMER_INT_OFF & T1_16BIT_RW & T1_SOURCE_INT &
T1_PS_1_1 & T1_OSC1EN_OFF & T1_SYNC_EXT_OFF);

    WriteTimer1(0xFC18); //0xFC18 4000Hz

    INTCONbits.TMR0IE = 0; // Enable TMR0 interrupts

    INTCONbits.INT0IF = 0; //Clear Interrupt FLAG

    INTCON2bits.INTEDG0 = 0; //Enterrupt on Falling edge

    INTCONbits.INT0IE = 1; //Enable External Interrupt

    INTCONbits.GIE = 1;

    INTCONbits.GIEH = 1;

    INTCONbits.GIEL = 1;

    Delay_ms(10);

#endif

    UserInit();

} //end InitializeSystem

/*****
*****

* Function:    void UserInit(void)

* PreCondition:  None

* Input:       None

* Output:      None

* Side Effects: None

* Overview:    This routine should take care of all of the demo code
*              initialization that is required.

* Note:

*****/

void UserInit(void) {

```

Ek 1. C dilinde yazılan program (devamı)

```

Cnt = 0; //seri data uzunluk kontrol

PI_Init();

PI_Reset();

UART_Init();

PWM_Init();

} //end UserInit

/*****
*****

* Function:    void ADC_Init(void)
* Description: Initialization of ADC
* Precondition: None
* Parameters:  None
* Return Values: None

*****/

void ADC_Init(void) {
config1 = ADC_FOSC_RC & ADC_RIGHT_JUST & ADC_2_TAD;
    config2 = ADC_CH0 & ADC_INT_OFF & ADC_REF_VDD_VSS;
    portconfig = ADC_1ANA; // Only A0 is analog. the rest are digital (so as to allow us
digital output on B)
    OpenADC(config1, config2, portconfig);
}

/*****
*****

* Function:    void UART_Init(void)
* Description: Initialization of UART
* Precondition: None
* Parameters:  None
* Return Values: None

```


Ek 1. C dilinde yazılan program (devamı)

```

*****
*****/

void UART_Init(void) {
    // configure USART

    config1 = USART_TX_INT_OFF & USART_RX_INT_ON &
    USART_ASYNC_MODE & USART_BRGH_HIGH & USART_EIGHT_BIT &
    USART_CONT_RX;

    spbrg = 25;

    OpenUSART(config1, spbrg);
}

void PWM_Init(void) {
    //Timer2

    OpenTimer2(TIMER_INT_OFF & T2_PS_1_1 & T2_POST_1_8); // Starts TMR2
    with 1:1 prescaler

    //----set duty cycle----

    duty_cycle = duty_cycle_start; //

    SetDCPWM1(0); //set the duty cycle

    SetDCPWM2(0);

    //---Configure pwm ----

    period = 160; //

    ClosePWM1();

    ClosePWM2();

}

void MotorRun(char mode) {
    switch (mode) {
        case MotorStop:
            EnableUART = FALSE;

            PIE1bits.TMR1IE = 0;

            T1i = 0;
    }
}

```

Ek 1. C dilinde yazılan program (devamı)

```
    PORTB = 0x00;
    SetDCPWM1(0);
    SetDCPWM2(0);
    ClosePWM1();
    ClosePWM2();
    PI_Reset();
    motorY = 0;
    break;
case MotorCW:
    PI_Init();
    PI_Reset();
    PORTB = 0x00;
    SetDCPWM2(0);
    ClosePWM2();
    SetDCPWM1(duty_cycle);
    OpenPWM1(period); // 0xDE periyot
    //Delay10KTCYx(10);
    mHB_1_On();
    motorY = 1;
    break;
case MotorCCW:
    PI_Init();
    PI_Reset();
    PORTB = 0x00;
    SetDCPWM1(0);
    ClosePWM1();
    SetDCPWM2(duty_cycle);
    OpenPWM2(period); // 0xDE periyot
```

Ek 1. C dilinde yazılan program (devamı)

```

//Delay10KTCYx(10);

    mHB_2_On();
    motorY = 2;
    break;
default:
    //statements
    break;
}
}
/*****
* Function:    void ProcessIO(void)
* PreCondition:  None
* Input:       None
* Output:      None
* Side Effects: None
* Overview:    This function is a place holder for other user
*              routines. It is a mixture of both USB and
*              non-USB tasks.
*              Sends a received Input report back
*              to the host in an Output report.
*              Both directions use interrupt transfers.
* Note:        None
*****/
void ProcessIO(void) {
    //StatusControl();
} //end ProcessIO
void StatusControl(void) {
}

```

Ek 1. C dilinde yazılan program (devamı)

```

void PI_Init(void) {
    RPM = Eeprom_Read_Float(0x00);
    Kp = Eeprom_Read_Float(0x10);
    Ki = Eeprom_Read_Float(0x20);
    setRPM = RPM; }
void PI_Reset(void) {
    pRPM = 0;
    err = 0;
    dT = 0;
    integral = 0;
    T1i = 0;
    duty_cycle = duty_cycle_start;
    EnableUART = TRUE;
}
void PI_Update(int rpm) {
    pRPM = (240000.0 / rpm); //RPM
    err = setRPM - pRPM; //Error
    dT = rpm / 4000.0; //deltaT
    integral += err*dT; //integral
    dutyD = (Kp * err) + (Ki * integral);
    dutyDD = dutyD * (1023.0 / 5000.0);
    duty_cycle += dutyDD;
    if (duty_cycle > 1023) duty_cycle = 1023; //PWM üst s?n?r
    if (duty_cycle < 100) duty_cycle = 100; //
    if (duty_cycle > 0 & duty_cycle < 1023) {
        mOUT_0_Toggle();
        if (motorY == 1)
            SetDCPWM1(duty_cycle);
    }
}

```

Ek 1. C dilinde yazılan program (devamı)

```

if (motorY == 2)
    SetDCPWM2(duty_cycle);
}
}

unsigned char GetBit(unsigned char data, unsigned char n) {
    unsigned char i;
    i = 1 << n;
    return (data & i);
}

void UART_WriteInt(int x) {
    TXREG = x & 0xff;
    while (!TXSTAbits.TRMT);
    TXREG = x >> 8;
    while (!TXSTAbits.TRMT);
    //putcUSART(13);
    putcUSART(10); }

float Eeprom_Read_Float(word addr) {
    float result;
    byte *ptr = (byte *) & result;
    byte i;
    for (i = 0; i < 4; i++)
        *(ptr++) = Read_b_eep(addr++);
    return result; }

void Eeprom_Write_Float(word addr, float data) {
    byte *ptr = (byte *) & data;
    byte i;
    for (i = 0; i < 4; i++)
        Write_b_eep(addr++, *(ptr++)); }

```



ÖZ GEÇMİŞ

İdris KESKİN 1987 yılında Batman'da doğdu. İlk, orta ve lise öğretimlerini Batman'da tamamladı. Lisans eğitimini 2011 yılında Fırat Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde tamamladı. 2012 yılında TEDAŞ Genel Müdürlüğü'nde Elektrik-Elektronik Mühendisi olarak göreve başlamış Haziran-2013 tarihinden sonra özelleşen TEDAŞ Dağıtım Şirketlerini Denetleyici personel olarak TEDAŞ Vangölü Bölge Müdürlüğü'nde göreve devam etmektedir. Evli ve iki çocuk babasıdır.



T.C
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 06/08/2019

Tez Başlığı / Konusu: **Android Uygulama ile Doğru Akım (DA) Motorun Hız Kontrolünün Gerçekleştirilmesi.**

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 93 sayfalık kısmına ilişkin, 06/08/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından tez intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 8 (sekiz) dir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

06/08/2019

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: İdris KESKİN

Öğrenci No: 12911610071

Anabilim Dalı: Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Programı:

Statüsü: Y. Lisans Doktora

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR

Prof. Dr. Naci GENÇ

ENSTİTÜ ONAYI
UYGUNDUR

(Unvan, Ad Soyad, İmza)
Prof. Dr. Naci GENÇ
Enstitü Müdürü