

T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

Mikrodenetleyici ile PID Kontrollü Otomatik Yönlendirmeli
Araç İçin Yumuşak Anahtarlama Yöntemiyle DC Motor Sürücü
Tasarımı

Yazar
Yakup AKSOY

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa NİL



MANİSA-2024

YAKUP AKSOY	MİKRODENETLEYİCİ İLE PID KONTROLÜ OTOMATİK YÖNLENDİRMELİ ARAÇ İÇİN YUMUŞAK ANAHTARLAMA YÖNTEMİYLE DC MOTOR SÜRÜCÜ TASARIMI	2024
----------------	--	------

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Yakup AKSOY



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
TABLO DİZİNİ	VII
TEŞEKKÜR.....	VIII
ÖZET.....	IX
ABSTRACT.....	X
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin amacı	4
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Otomatik Yönlendirmeli Araçlar.....	5
2.2. OYA Navigasyon Yönetim Sistemleri	5
2.2.1.Basit Navigasyon Sistemleri	6
2.2.1.1. Endüktif Alüminyum Bant	6
2.2.1.2. Manyetik Bant	6
2.2.1.3. Optik Bant.....	6
2.2.1.4. Spot Bant	6
2.2.2.Gelişmiş Navigasyon Sistemleri	7
2.2.2.1. Lazer Navigasyon	7
2.2.2.2. Doğal Navigasyon	7
2.3. Anahtarlama Yöntemleri	7
2.3.1. Sert Anahtarlama (HS)	7
2.3.2. Yumuşak Anahtarlama (SS).....	9
2.3.2.1. Sıfır Akımda Anahtarlama (ZCS)	9
2.3.2.2. Sıfır Gerilimde Anahtarlama (ZVS).....	10
2.3.2.3. Sıfır Akımda Geçiş (ZCT).....	10
2.3.2.4. Sıfır Gerilimde Geçiş (ZVT)	10
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	11
3.1.1. Materyal.....	12
3.1.1. OYA Mekanik Tasarım	12
3.1.1.1. Mekanik Malzemeler	14
3.1.2. OYA Elektronik Tasarım.....	17
3.1.2.1. Anakart	17
3.1.2.2. Li-Ion Batarya.....	18
3.1.2.3. Kumanda ve Koruma Elemanları	19
3.1.2.4. Nexition Dokunmatik Ekran.....	19
3.1.2.5. Rasperry Pi.....	21
3.1.2.6. Cisim Sensörleri	21
3.1.2.7. Doğru Akım Motoru	22
3.1.2.8. ACS 712 Akım Sensörü	23
3.1.2.9. Çizgi Takip Sensörü QTR-8A	26
3.1.2.10. Motor Sürücü Devresi.....	27
3.1.2.10.1. IR2104(S) Sürücü Entegre.....	28
3.1.2.10.2. Önyüklem Kapasitörü	31
3.1.2.10.3. Önyüklem Kapasitör Hesabı	32
3.1.2.10.4. Önyüklem Kapasitör Direnci	33
3.1.2.10.5. Gate Direnci Seçimi.....	35
3.1.2.10.6. MOSFET Turn-on Direnç Hesaplaması	35

3.1.2.10.7. MOSFET Turn-off Direnç Hesaplamaları.....	36
3.1.2.11. Bastırma Devreleri.....	37
3.2. Yöntem	39
3.2.1. Sistemin Teknik Özellikleri.....	39
3.2.2. Tasarlanan Sürücünün Genel Yapısı	39
3.2.3. Regülatör Devresi	40
3.2.4. Sürücü Devresi.....	42
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	48
4.1. LTSpice Programıyla Simülasyon.....	48
4.2. Sürücü Kartın Montajı.....	52
4.3. Ölçüm Sonuçları.....	54
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	63
EKLER.....	65
EK A. (Sabit Voltaj Regülatör Entegresi Katalog Bilgileri (LM2576))	65
ÖZGEÇMİŞ	67

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Amper
AC	Alternating current (Alternatif Akım)
BYS	Batarya Yönetim Sistemi
°C	Santigrat
DC	Direct Current (Doğru Akım)
DI/DT	Akımın zamandaki değişim hızı
DV/DT	Gerilimin zamandaki değişim hızı
EEPROM	Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory (Elektronik Olarak Silinebilir Programlanabilir Salt Okunur Bellek)
EMI	Electromagnetic Interference (Elektromanyetik Girişimi)
F	Frekans
GND	Ground (Eksi)
GUI	Graphical user interface (Grafik Kullanıcı Arabirimi)
HD	High Definition (Yüksek Çözünürlük)
HMI	Human Machine Interface (İnsan Makine Arayüzü)
HS	Hard Switching (Sert Anahtarlama)
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor (İzole edilmiş kapılı, iki kutuplu transistör)
I/O	Input/Output (Giriş/Çıkış)
IR	Infrared (Kızılötesi Işın)
kW	Kilo Watt
kHz	Kilo Hertz
LCD	Liquid Crystal Display (İnce Tabakalı Transistör)
LI-ION	Lithium-Ion (Lityum iyon)
MA	Mili Amper
MAH	Mili Amper Saat
MCU	Micro Controller Unit (Mikrodenetleyici)
	Transmit X (İletmek)
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistör (Metal oksit yarı iletken alan etkili transistör)
NM	Newton Meter (Newton Metre)
OYA	Otomatik Yönlendirmeli Araç

PCB	Printed Circuit Board (Baskı Devre Kartı)
PFC	Power Factor Correction (Güç Faktörü Düzeltme)
PID	Proportional Integral Derivative (Oransal İntegral Türevsel)
PWM	Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
RAM	Random Access Memory (Rastgele Erişimli Bellek)
RCD	Resistance Capacitor Diode (Direnç Kondansatör Diyot)
RFI	Radio Frequency Interference (Radyo Frekans Girişimi)
ROM	Read Only Memory (Sadece Okunan Bellek)
RX	Receive X (Almak)
SiC	Silicon Carbide (Silikon Karbür)
SRAM	Static Random Access Memory (Durağan Rastgele Erişimli Bellek)
SS	Soft Switching (Yumuşak Anahtarlama)
TTL	Transistor-Transistor Logic (Transistör-Transistör Lojik)
TX	Transmit X (İletmek)
UV	Ultraviyole
V	Voltaj
ZCS	Zero Current Switching (Sıfır Akımda Anahtarlama)
ZCT	Zero Current Transtion (Sıfır Akımda Transfer)
ZVS	Zero Voltage Switching (Sıfır Voltajda Anahtarlama)
ZVT	Zero Voltage Transition (Sıfır Gerilimde Transfer)
QR	Quick Response (Çabuk Tepki)
W	Watt

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. OYA navigasyon yönetim sistemleri	5
Şekil 2.2. Anahtarlama Yöntemleri.....	8
Şekil 2.3. (a) Bir anahtarlama güç elemanın kontrol sinyali ile (b) HS, (c) ZCS ile ZVS ve (d) ZCT ile ZVT çalışmalarıyla ilgili temel dalga şekilleri	8
Şekil 3.1. Blok şema	11
Şekil 3.2. Robot gövde tasarımı	12
Şekil 3.3. GÜDÜMLÜ robot iç montaj görüntüsü	12
Şekil 3.4. Kaldırıcı tahrik sistemi ve hareket mekanizması tasarımı	13
Şekil 3.5. Dış sac imalat modeli.....	13
Şekil 3.6. Ana kontrol kartı blok şeması	17
Şekil 3.7. Li-on pil grubu ve BYS	19
Şekil 3.8. Kumanda ve koruma elemanları	19
Şekil 3.9. Nexition robot tasarım ekranı	20
Şekil 3.10. Raspberry pi	21
Şekil 3.11. Cisimden yansımali sensörü blok ve çalışma prensip şeması.....	21
Şekil 3.12. DC motor teknik resim çizimi	22
Şekil 3.13. ACS712 (30A) sensörü	23
Şekil 3.14. Çalışma prensip şeması.....	24
Şekil 3.15. ACS712 akım sensörü kullanım şeması	24
Şekil 3.16. QTR-8A şematik diyagramı.....	27
Şekil 3.17. IR2104 bağlantı şeması.....	28
Şekil 3.18. Sembol açıklamaları	30
Şekil 3.19. Anahtarlama zamanı dalga biçimi tanımları	30
Şekil 3.20. Önyüklem kapasitörü şarj yolu	31
Şekil 3.21. Önyüklem kapasitörü deşarj yolu.....	31
Şekil 3.22. VDD/HB-HS hızlı Artış (Rboot = 0 Ohm).....	34
Şekil 3.23. VDD/HB-HS hızlı Artış (Rboot = 2.2 Ohm).....	34
Şekil 3.24. Turn-on ve Turn-off akımları.....	35
Şekil 3.25. Alçak taraf anahtarı kapalı, yüksek taraf anahtarı açık.....	37
Şekil 3.26. Bastırma hücreleri şema gösterimi.....	38
Şekil 3.27. Sürücü devresi blok şeması.....	40
Şekil 3.28. Regülatör devresi şematik çizimi.....	41
Şekil 3.29. Regülatör devresi baskı devre kartı (PCB) çizimi	41
Şekil 3.30. Sürücü entegre besleme devresi 3 boyutlu görüntüsü	42
Şekil 3.31. Sürücü şematik çizimi.....	42
Şekil 3.32. Sürücü PCB çizimi.....	43
Şekil 3.33. Sürücü 3 boyutlu görüntüsü	43
Şekil 3.34. Sıfır voltaj anında bastırma devresi	44
Şekil 3.35. Sıfır akım anında bastırma devresi	46
Şekil 4.1. Tasarlanan sürücünün ltspice programına aktarılan şeması.....	48
Şekil 4.2. LTspice simülasyon sonucu (kırmızı: gerilim, mavi: akım).....	49
Şekil 4.3. Turn-off ölçümü – akım, gerilim ve güç değerlerinin gösterimi (kırmızı: kayıp güç, mavi: akım, yeşil: gerilim)	49
Şekil 4.4. Turn-on ölçümü – akım, gerilim ve güç değerlerinin gösterimi (kırmızı: kayıp güç, mavi: akım, yeşil: gerilim)	50
Şekil 4.5. Turn-off anahtarlama kayıpları (bastırma devresi yok) (kırmızı: kayıp güç, mavi: akım, yeşil: gerilim)	50

Şekil 4.6. Turn-on anahtarlama kayıpları (bastırma devresi yok) (kırmızı: kayıp güç, mavi: akım, yeşil: gerilim)	51
Şekil 4.7. Sürücü PCB kartı	52
Şekil 4.8. Sürücü PCB kartın montajlanmış üst görünümü	53
Şekil 4.9. Sürücü PCB kartın montajlanmış alt görünümü	53
Şekil 4.10. Deney görüntüsü-1.....	54
Şekil 4.11. Deney görüntüsü-2.....	54
Şekil 4.12. Deney görüntüsü-3.....	55
Şekil 4.13. MOSFET üzerindeki akım ve gerilim değerlerinin gösterimi (sarı: gerilim, yeşil: akım)	55
Şekil 4.14. Turn-off ölçümü – akım ve gerilim değerlerinin gösterimi (sarı: gerilim, yeşil: akım).....	56
Şekil 4.15. Turn-off ölçümü – akım ve gerilim değerlerinin gösterimi (sarı: gerilim, yeşil: akım).....	56
Şekil 4.16. Turn-on ölçümü – akım ve gerilim değerlerinin gösterimi (sarı: gerilim, yeşil: akım).....	57
Şekil 4.17. Bastırma kapasitörüne akan akım	58
Şekil 4.18. Termal kamera görüntüsü	58
Şekil 4.19. Turn-off ölçümü – akım ve gerilim değerlerinin gösterimi (bastırma devresi yok-sarı: gerilim, yeşil: akım)	59
Şekil 4.20. Turn-on ölçümü – akım ve gerilim değerlerinin gösterimi (bastırma devresi yok-sarı: gerilim, yeşil: akım)	59

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Mekanik Malzemeler	14
Tablo 3.2. Arduino MEGA 2560 Özellikleri	18
Tablo 3.3. Nextion NX1060P101 Ekran Özellikleri.....	20
Tablo 3.4. DC Motorun Özellikleri.....	22
Tablo 3.5. ACS Akım sensörlerinin hassasiyetleri	23
Tablo 3.6. QTR-8A Özellikleri	26
Tablo 3.7. Sürücü Maksimum Değerleri.....	28
Tablo 3.8. Sürücü Önerilen Çalışma Koşulları	29
Tablo 3.9. Sürücü Dinamik Elektriksel Değerleri.....	29
Tablo 3.10. Sürücü Sembol Açıklamaları	30
Tablo 3.11. Sürücü Kart Özellikleri.....	39
Tablo 3.12. OYA Özellikleri.....	39



TEŐEKKÖR

Çalışmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mustafa NİL'e, bilgi ve tecrübesi ile lisansüstü öğrenim hayatımın tüm zorlu aşamalarında her yönden yardımcı olan, kendisini tanımaktan büyük onur duyduğum sevgili hocam Sayın Prof. Dr. Hayati MAMUR'a, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan beni bugünlere getiren annem Badegöl AKSOY'a ve babam Veysel AKSOY'a, çalışmam boyunca her zaman yanımda olan desteğini her zaman hissettiren sevgili eşim Tuğçe AKSOY'a, canım kızlarım Alina ve Alisa AKSOY'a yürekten teşekkür ederim.

Yakup AKSOY
Manisa, 2024



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Yakup AKSOY

**Mikrodenetleyici ile PID Kontrollü Otomatik Yönlendirmeli Araç için
Yumuşak Anahtarlama Yöntemiyle DC Motor Sürücü Tasarımı**

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa NİL

Bu çalışmada otomatik yönlendirmeli araç (OYA) ve aracın hareketini sağlayan DC motorlar için yumuşak anahtarlama (SS) yöntemiyle sürücü tasarımı gerçekleştirilmiştir. OYA otonom olarak hareket edebilmekte, belirli noktalardan yükleri alıp yine belirlenen noktalara otonom şekilde götürebilmektedir. Tasarlanan sürücü ile DC motorların hız ve yön kontrolü yapılabilmektedir.

Tasarlanan sürücü kartı sıfır gerilimde anahtarlama (ZVS) ve sıfır akımda anahtarlama (ZCS) özelliklerine sahiptir. Sürücü kartı 24V, 10A değerlerine göre tasarlanmıştır. Sürücü kartının tasarımı Altium Designer programında gerçekleştirilmiştir. Simülasyon programı olan LTspice programında detaylı olarak analizler yapılmıştır.

Yapılan analizlerde ZVS devresinin MOSFET'in drain source uçları arasındaki gerilimin dv/dt hızını anlamlı şekilde yavaşlattığı tespit edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre ZCS devresinin MOSFET'in drain source uçları arasındaki akımın di/dt hızını yavaşlattığı tespit edilmiştir. Turn-off anında anahtarlama kayıplarının 9W, Turn-on anında ise 3W olduğu görülmüştür. Böylece akım ve gerilim sinyallerinin üst üste binmesi en az düzeyde gerçekleşerek anahtarlama kayıpları azaltılmıştır. MOSFET'ler 32 kHz'lik sürme sinyalinde başarılı şekilde sürülebilmektedir.

Bastırma devrelerinin olmadığı aynı kart aynı şartlar altında denenerek sonuçları incelenmiş ve anahtarlama kayıplarının arttığı gözlenmiştir. Turn-off anında anahtarlama kayıplarının 120W, Turn-on anında ise 63W olduğu görülmüştür. MOSFET'in drain source uçları arasındaki akım ve gerilimin çok yüksek olan di/dt ve dv/dt hızları MOSFET'lerin ısınmasına ve sürücü entegrenin kendini korumaya alarak devrenin kararsız çalışmasına sebep olmuştur.

Anahtar Kelimeler: yumuşak anahtarlama, dc motor sürücü, sert anahtarlama, sıfır akımda anahtarlama, sıfır gerilimde anahtarlama, bastırma devreleri

2024, 67 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Yakup AKSOY

DC Motor Driver Design with Soft Switching Method for PID Controlled Automatic Guidance Vehicle with Microcontroller.

**Manisa Celal Bayar University
Postgraduate Education Institute
Department of Electrical and Electronics Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Mustafa NİL

In this study, the driver design was carried out using the soft switching (SS) method for the automatic guided vehicle (AGV) and the DC motors that move the vehicle. AGV can act autonomously, picking up loads from certain points and transporting them to certain points autonomously. With the designed driver, the speed and direction of DC motors can be controlled.

The designed driver card has zero voltage switching (ZVS) and zero current switching (ZCS) features. The driver card is designed for 24V, 10A values. The design of the driver board was carried out in the Altium Designer program. Detailed analyzes were made in the LTspice program, which is a simulation program.

In the analysis, it was determined that the ZVS circuit significantly slows down the dv/dt speed of the voltage between the drain source ends of the MOSFET. According to the analysis results, it was determined that the ZCS circuit slowed down the di/dt speed of the current between the drain source terminals of the MOSFET. It was observed that the switching losses were 9W at the turn-off moment and 3W at the turn-on moment. Thus, overlapping of current and voltage signals is minimized and switching losses are reduced. MOSFETs could be successfully driven at a 32 kHz drive signal.

The same card without suppression circuits was tested under the same conditions and the results were examined and it was observed that the switching losses increased. It was observed that the switching losses were 120W at the turn-off moment and 63W at the turn-on moment. The very high di/dt and dv/dt speeds of the current and voltage between the drain source terminals of the MOSFET caused the MOSFETs to heat up and the driver IC protected itself, causing the circuit to operate unstable.

Keywords: soft switching, dc motor driver, hard switching, zero current switching, zero voltage switching, suppression circuits.

2024, 67 pages

1. GİRİŞ

Artan tüketim ihtiyaçları için hızlı üretim yapmak ve üretilen ürünün rekabet edilebilir düzeyde olması kaçınılmaz olmuştur. Otomatik yönlendirmeli araç (OYA) üretim yoğunluğunun yüksek olduğu sektörlerde fayda sağladığı için tercih sebebi olmaya başlamıştır. Genellikle yük taşıma amacı ile kullanılan bu robotların asıl amacı doğru yükü istenilen bölgeye uygun sürede güvenli bir şekilde taşımaktır [1].

OYA'lar için kablosuz şarj ve çizgi takip sensörleri kullanmadan OYA'yı otomatik olarak yönlendiren ve kablosuz şarj sistemlerinin geliştirilmesiyle OYA fabrikalarda daha aktif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu sayede üretim maliyetlerinde düşme, rekabet edilebilirlik düzeyi yüksek ürünlerin üretimi ve üretim hızında artış sağlanmıştır [2].

Çalışma ortamında çoklu olarak çalışan OYA'ların birbirleriyle haberleşmeleri, çalışma alanındaki iş yükünü en verimli şekilde paylaşmalarını sağlamaktadır. Geliştirilen ortak navigasyon sistemi sayesinde OYA'ların boşa kalma süreleri, yük taşımada kullanımı, boş seyahat süreleri ve üretim taleplerini karşılamak için gerekli OYA sayısı belirlenebilir [3].

Hastane ortamlarında temasın en aza indirilmesi bazı durumlarda kritik önem arz etmektedir. Covid 19 salgınında hastane çalışanları tarafından kontrol edilebilen ya da otomatik olarak hareket edebilen OYA'lar hastalara ilaç taşıma, izleme ve tehlikeli atıkların atılması durumlarında kullanılabilir. Böylece maliyetlerin azaltılması, verimliliğin artırılması, tehlikeli atıkların bertarafı gibi durumlar sağlanmış olur [4].

Güvenlik açısından gerekli önlemlerin en üst düzeyde alındığı OYA, yaşanması muhtemel iş kazalarının önüne geçmektedir. İnsanların ve makinelerin bulunduğu ortamda güvenli şekilde çalışan OYA, üzerinde barındırdığı güvenlik sensörleriyle fabrikada iş aksaklığına izin vermeyecek şekilde çalışabilmektedir [5].

Otonom olarak hareket eden robotların yazılımı matematiksel olarak oransal, integral ve türevsel (PID) algoritma yardımıyla robotun hareket kabiliyeti daha hassas şekilde yapılabilir. Bu hassasiyet sayesinde OYA'ların hareket kabiliyeti genişler. Fabrika ya da herhangi bir ortamda ulaşılması zor olan bölümlere OYA rahatlıkla hareket ederek iş akışını hızlandırabilir [6].

Bodur ve Bakan tarafından yapılan çalışmalarda, yeni bir "sıfır voltaj geçiş (ZVT) darbe genişlik modülasyonu (PWM)" tasarlayarak eski tip dönüştürücünün dezavantajlarının çoğunun üstesinden gelen yeni bir aktif bastırma hücresi önerilmiştir. Bu dönüştürücülerde, iletme ve kesime girme işlemleri, bir rezonans tarafından sağlanan çok kısa bir ZVT veya sıfır akım geçiş (ZCT) süresinde sıfır gerilimde anahtarlama (ZVS) ve/veya sıfır akımda anahtarlama (ZCS) altında gerçekleşir. Böylece, rezonanslar kısa zaman aralıklarında oluşacağından, dönüştürücü çalışma periyodunun büyük bir kısmında normal bir PWM dönüştürücü olarak davranır. Fakat, bastırma elemanlarının çalışma özellikleri sebebiyle, PWM çalışmanın iletim ve kesim durumları minimum bir süreye sahiptir [7].

Elasser ve Torrey, bir düşürücü güç dönüştürücüsünde, İzole edilmiş kapılı, iki kutuplu transistör (IGBT) kapanma kayıplarını azaltmak için SS bir aktif bastırıcı önermişlerdir. SS bastırıcı, IGBT için sıfır voltajlı anahtarlama sağlar, böylece akım kuyruğundan kaynaklanan yüksek kapatma kayıplarını azaltır. Önerilen bastırıcı, kapasitörü boşaltmak için yardımcı bir anahtar kullanır. Bu yardımcı anahtar aynı zamanda sıfır gerilim ve sıfır akım anahtarlamasında da çalışır. Tasarlanan bastırma devresi geleneksel bastırma ve hatta pasif düşük kayıplı bastırma devresine göre iyi bir alternatif haline gelmiş olur. SS aktif bastırıcının kullanılması, IGBT'nin geliştirilmiş güvenli çalışma bölgesi ile yüksek frekanslarda çalışmasına izin verir. 1 kilo watt (kW), 40 kilo hertz'lik (kHz) bir prototip için bildirilen deneysel sonuçlarda, birleşik anahtarlama/engelleme kayıpları, geleneksel bir direnç-kapasitör-diyot (RCD) bastırıcıya kıyasla aktif bastırıcının kullanılmasıyla %36 oranında azaltılmaktadır. Aktif bir bastırıcının kullanılması, kapatma sırasında bastırma kapasitöründe depolanan enerjinin bir kısmının geri kazanılmasına olanak tanır. Düşürücü güç dönüştürücüsü için genel bastırma hücresi, yaygın yalıtımsız doğru akım/doğru akım (DC/DC) güç dönüştürücülerini (düşüren, yükselten, düşüren-

yükselten) ve ayrıca yalıtılmış DC/DC güç dönüştürücülerini (ileri, geri dönüş, geri dönüş) desteklemek üzere genelleştirilmiştir [8].

Bodur ve Yıldırım tarafından yapılan çalışmada, sürekli iletim modunda çalışan darbe genişliği modülasyonu (PWM) ve güç faktörü düzeltmeli (PFC) yükseltme dönüştürücüleri için yeni bir sıfır gerilim geçiş (ZVT) bastırma hücresi geliştirilmiştir. Bu yeni ZVT bastırma hücresi ile uygulanan yeni bir PFC güçlendirme dönüştürücü ailesi önerilmiştir. Bu yeni PFC güçlendirme dönüştürücüsünde, ana anahtar ZVT ile mükemmel bir şekilde açılır ve sıfır voltaj anahtarlama (ZVS) altında kapatılır. Ayrıca yardımcı anahtar sıfır akım anahtarlama iletime, ZVS altında ise kesime girer. Ana diyotlar ve tüm yardımcı diyotlar SS altında çalışmaktadır. ZVT çalışması sırasında, susturucu endüktansındaki anahtarlama enerjileri bir transformatör aracılığıyla çıkışa aktarılır ve böylece endüktansın ve yardımcı anahtarın akım stresleri önemli ölçüde azalır. Ayrıca bu transformatör, ana ve yardımcı anahtarların ZVS ile kapatılması için yeterli kondansatörün kullanılmasını sağlar. Ana anahtar ve ana diyot herhangi bir ilave gerilim ve akım stresine maruz kalmaz. Bu çalışmada, önerilen yeni ZVT-PWM-PFC yükseltici dönüştürücünün ayrıntılı bir kararlı durum analizi sunulmuş ve bu teorik analiz, 100 kHz ve 2 kW'lık bir prototip ile doğrulanmıştır [9].

Ahmed ve arkadaşları, HS ve SS altında silikon karbür (SiC) tetral oksit yarı iletken alan etkili transistör (MOSFET) üzerindeki anahtarlama kayıplarını incelemişlerdir. SiC MOSFET'ler muadillerine göre çok daha yüksek anahtarlama hızı sunmaktadır. SiC MOSFET'lerin yumuşak anahtarlama için tasarlanan bastırma devreleri anahtarlama kayıplarını önemli ölçüde azaltmıştır. Bastırma kapasitörlerinin yumuşak anahtarlama dalga formları üzerindeki etkisi de analitik olarak incelenmiş ve deneysel olarak doğrulanmıştır; bu, analitik modelin gelecekteki yumuşak anahtarlama çözümlerini değerlendirmek için kullanılmasına olanak tanır. Bastırma devresi, anahtarlama kayıplarının azaltılmasına ek olarak SiC MOSFET'in kapanma zil sesini önemli ölçüde azaltabildiği bulunmuştur [10].

AKSOY ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada PWM dönüştürücülerde güç yoğunluğunu ve verimliliği arttırmak ve elektromanyetik girişim (EMI) gürültüsünü azaltmak amacıyla yeni bir bastırma devresi geliştirilmiştir. Geliştirilen

bastırma devresi, ana anahtarın hem ZVT ile açılmasını hem de ZCT ile kapanmasını sağlamaktadır. Bu bastırma devresini içeren dönüştürücü, değişken hat ve yük gerilimlerinde yumuşak anahtarlama (SS) ile çalışır. Ayrıca dönüştürücüdeki tüm yarı iletken cihazlar ile çalışır. Ana bileşenlerde ilave gerilim gerilimi yoktur ve yardımcı bileşenlerin gerilimleri ihmal edilebilir düzeydedir [11].

1.1.Tezin Amacı

Fabrika iç lojistiğinde kullanılmak üzere belirli bir rota boyunca otonom olarak hareket edebilen, yük algılayıp taşıyabilen otomatik yönlendirmeli araç (OYA) tasarlanarak bu araç için SS özelliği olan DC motorlar için tam köprü motor sürücü tasarımı yapılacaktır. Tam köprü motor sürücüler genellikle SS özelliği bulunmayan devrelerden oluşuyor. Tasarlanacak olan DC motor sürücü sıfır gerilimde anahtarlama (ZVS) ve sıfır akımda anahtarlama (ZCS) yöntemleriyle tasarlanarak yüksek frekanslarda DC motor sürülebilecektir. Ayrıca MOSFET üzerinde oluşan anahtarlama kayıpları en aza indirilecektir. Sürücü 24 volt 10 amper 240 watt güç değerlerinde olacak şekilde tasarlanacaktır.

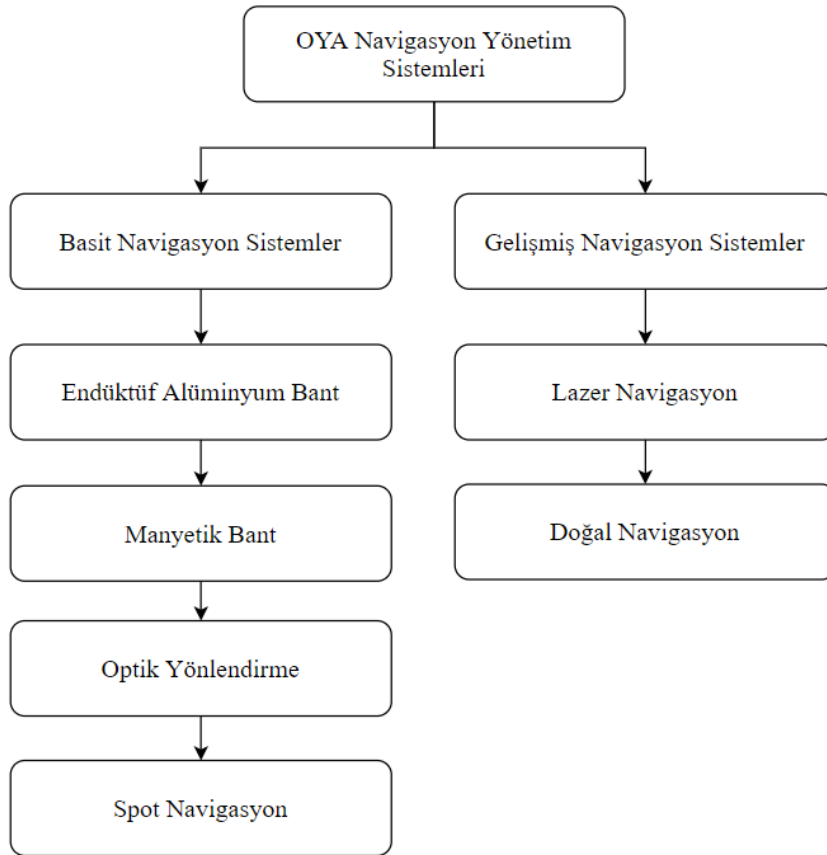
2. GENEL BİLGİLER

2.1.Otomatik Yönlendirmeli Araçlar

Otomatik yönlendirmeli araçlar, fabrika iç lojistiğine yönelik belirlenen rotalarda otomatik olarak yük taşıyabilen otonom araçlardır. Bu araçlar tamamen elektrikli olup rota tayini için farklı yöntemler kullanılarak rota tayini yapılabilir. Fabrikalardaki çalışma düzenini bozmadan makine haberleşmesi sayesinde ihtiyaç duyulan noktalara otonom şekilde ürün taşıyarak üretimin sürekliliğini sağlar [12].

2.2.OYA Navigasyon Yönetim Sistemleri

OYA'nın kullanım yerine göre navigasyon yönetim sisteminin belirlenmesi gerekir. Belirli bir noktada yük taşıma yapılacaksa basit navigasyon sistemler tercih edilirken değişken noktalarda yük taşıma yapılacaksa gelişmiş navigasyon sistemler tercih edilmelidir [13].



Şekil 2.1. OYA Navigasyon yönetim sistemleri [13]

2.2.1.Basit Navigasyon Sistemler

Bu sistemler taşıma alanının sürekli değişmediği ve yol güzergahlarında çok karmaşık elemanların olmadığı yerlerde tercih edilir. Diğer bir tercih sebebi ise sistemin yazılımının daha basit olması ve ürün maliyetinin düşük olmasıdır.[13]

2.2.1.1. Endüktif Alüminyum Bant

Bu navigasyon yönteminde, OYA endüktif sensörler sayesinde belirlenen noktalara çekilen manyetik bantı takip eder. Sistemin avantajı basit ve ucuz olmasıdır. Dezavantajı ise yerde bulunan manyetik bant kolayca yıpranabilir bu nedenle sık sık bakımlarının yapılması ya da üzerlerinin koruyucu bant veya epoksi boya ile kapatılması gerekir [13].

2.2.1.2. Manyetik Bant

Bu yönlendirme sisteminde zemin yüzeyine manyetik bant yapıştırılır. Bandın zemine uygulanması kolaydır. OYA konumunu belirlemek için manyetik bant algılayıcı sensör kullanılır. Sensör bandın konumunu takip ederek OYA'nın yönlendirilmesi sağlanır. Bant zemine uygulandığı için yıpranması kolaydır ve sık sık bakım yapılmasını gerektirir [13].

2.2.1.3. Optik Bant

Zemine boya veya renkli şerit bant uygulanır. OYA yolu tespit etmek için yerleşik bir optik sensöre sahiptir. Bazı sistemler, şeridi aydınlatmak için ultraviyole (UV) ışık kaynağı da kullanır. Tipik olarak tesislerde veya depolarda kullanılmaz, çünkü zemin hattının sıklıkla temiz tutulması veya yeniden uygulama yapılması gerekir [13].

2.2.1.4. Spot Navigasyon

Spot navigasyon OYA'nın pozisyonunu tespit etmek için zemine yerleştirilen mıknatıs yapısına sahip referans noktalarını izler. Referans noktaları, aracın hafızasına kaydedilen x, y koordinatlarına karşılık gelir. Bu noktalar OYA üzerinde bulunan sensör tarafından algılanır ve aracın yön ve gittiği mesafe de ölçülerek bu bilgiler doğrultusunda aracın rotasını takip etmesi sağlanır [13].

2.2.2. Gelişmiş Navigasyon Sistemleri

Bu sistemler taşıma alanının sürekli değişebildiği ve yol güzergahlarında karmaşık elemanların olduğu yerlerde tercih edilir. Rota değişikliklerine çok çabuk uyum sağlayabilen bu sistemler yazılım olarak üst düzey bilgi gerektirmektedir. Maliyeti ise basit navigasyonlu sistemlere göre yüksektir [13].

2.2.2.1. Lazer Navigasyon

Lazer Navigasyon: Tesis içerisinde OYA'nın yük taşıma yapacağı belirli noktalara reflektörler yerleştirilir. Yerleştirilen bu reflektörleri algılamak için OYA'nın üzerine lazer tarayıcı takılır. Reflektörlerden alınan yansımalar aracılığıyla araç kontrol algoritmaları OYA'nın konumunu üçgenleme metodu ile hesaplar ve daha önce araca girilen verilerle karşılaştırma yapılarak rota hesaplanır [13].

2.2.2.2. Doğal Navigasyon

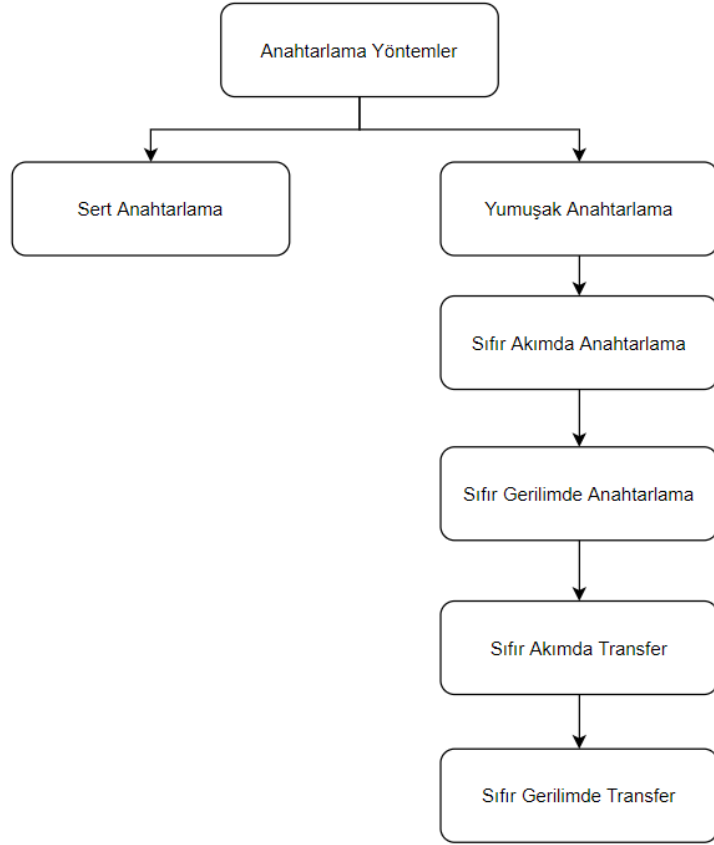
Çalışma alanı OYA üzerindeki lazer tarayıcı ve tarayıcılar ile ölçülür. Çalışma alanının referans görüntüleri aracın hafızasına kaydedilir ve saklanır (çalışma ortamı haritası). Navigasyonun sağlanması için doğal ortam yani duvarlar, kolonlar, makineler, bariyerler vb. çalışma ortamında bulunan nesnelerden yansıyan veriler kullanılır. Konumlandırma doğruluğu uygun çevre koşullarına bağlıdır ve +/- 1 cm'dir [13].

2.3. Anahtarlama Yöntemleri

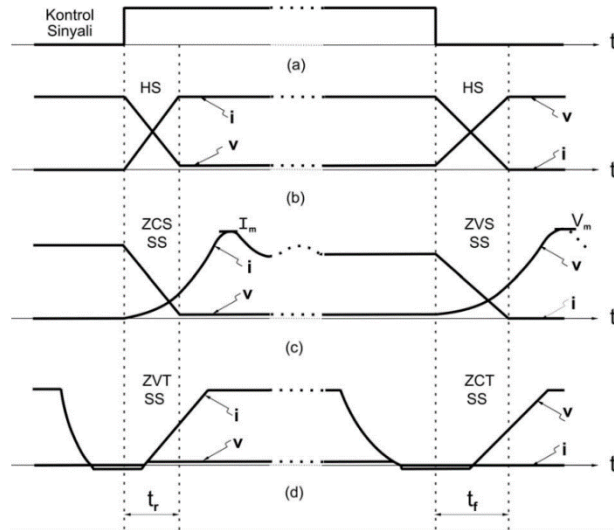
Güç elektroniğinde yüksek frekanslarda anahtarlama yapan yarı iletkenlerin açılma ve kapanma anında akım ve gerilimin üst üste binmesi sonucunda oluşan kayıplar, ana diyotun ters toparlanmasından kaynaklanan enerji kaybı ile parazitlik kondansatörün deşarj sırasında oluşan kayıplara anahtarlama kaybı denilir [14].

Oluşan bu kayıplar yarı iletken anahtarlama elemanların üzerinde elektromanyetik ve Radyofrekans Girişimi (EMI ve RFI) gürültüleri meydana getirir. EMI ve RFI gürültüleri haberleşme ve kontrol sinyallerini bozar [14].

Bu kayıpları ortadan kaldırmak için SS yöntemleri kullanılarak MOSFET'in yüksek frekanslarda kullanılmasının önü açılacaktır. Ayrıca EMI ve RFI gürültüleri ortadan kalkacaktır [14].



Şekil 2.2. Anahtarlama yöntemleri [14]



Şekil 2.3 (a) Bir anahtarlama güç elemanın kontrol sinyali ile (b) HS, (c) ZCS ile ZVS ve (d) ZCT ile ZVT çalışmalarıyla ilgili temel dalga şekilleri [14]

2.3.1.Sert Anahtarlama (HS)

Sert anahtarlama (HS), anahtarlama özelliği olan yarı iletken elemanın yalnızca kendi özelliğini kullanarak herhangi ek bir düzen kullanmadan gerçekleşen anahtarlama tekniği olarak ifade edilir [14].

Yüksek frekanslarda HS çalışan güç elemanlarının üzerinde anahtarlama kayıpları artar. Bu kayıplar güç elemanının ısınmasına hatta güvenli çalışma bölgesinin dışına çıkmasına sebep olabilir. Ayrıca kullanılan güç elemanlarının nominal değerleri ile soğutucu ve soğutma sisteminin boyutları da artar. Bununla beraber, anahtarlama işlemleri sırasında, büyük değerli olan akım ve gerilim yükselme hızları, yüksek değerli Elektromanyetik Girişimi (EMI) ve Radyofrekans Girişimi (RFI) gürültülerine neden olur. Bu gürültüler ise, kontrol ve haberleşme sinyallerini bozar [14].

2.3.2.Yumuşak Anahtarlama (SS)

SS, MOSFET üzerinde oluşan anahtarlama kayıplarını ve EMI gürültülerin bastırma hücreleriyle yok edilmesi ya da en aza indirilmesi şeklinde tanımlanır. Güç elemanının yüksek frekanslarda kullanımını mümkün hale getirmek için SS yapılması gereklidir. SS olanak sağlayan ve dönüştürücülerin normalde bir parçası olmayan ilave devrelere ise bastırma hücreleri denilmektedir [15].

2.3.2.1.Sıfır Akımda Anahtarlama (ZCS)

ZCS, iletme girme esnasında gerçekleştirilen bir SS tekniğidir. Bu teknikte amaç güç elemanının iletme girme esnasında drain-source uçlarındaki akımın yükselme hızını sınırlamaktır. Basit olarak güç anahtarına küçük değerli bir endüktans seri bağlanır. Böylece, akım ile gerilimin üst üste binmesi ve anahtarlama enerji kaybı azaltılır. Aslında, iletme girme işlemindeki anahtarlama enerjisi endüktansa aktarılır. Endüktanstaki bu enerji, klasik hücrelerde bir dirençte harcanır, fakat modern hücrelerde kısa süreli bir kısmi rezonans ile gerilim kaynağı veya yüke aktarılarak geri kazanılır [15].

2.3.2.2.Sıfır Gerilimde Anahtarlama (ZVS)

ZVS, kesime girme esnasında gerçekleştirilen bir SS tekniğidir. Bu teknikte amaç güç elemanının kesime girme esnasında MOSFET'in drain-source uçlarındaki gerilimin yükselme hızını sınırlamaktır. Basit olarak güç anahtarına küçük değerli bir kondansatör paralel bağlanır. Böylece, iletimden çıkma işleminde, anahtarlama enerji kaybı azaltılır ve anahtarlama enerjisi kondansatöre aktarılır. Kondansatördeki bu enerji, modern hücrelerde geri kazanılır [15].

2.3.2.3.Sıfır Akımda Geçiş (ZCT)

ZCT, kesime girme esnasında gerçekleştirilen ileri bir SS tekniğidir. Bu teknikte amaç güç anahtarından geçen akım kısa süreli bir kısmi rezonansla sıfıra düşürülür ve akım sıfırda tutulurken kontrol sinyali kesilir. Böylece, akım ile gerilimin üst üste binmesi ve anahtarlama enerji kaybı tamamen ortadan kalkar. Mükemmel bir kesime girme işlemi sağlanır [15].

Burada hem ZCS hem de ZVS'nin uygulandığı söylenebilir. Akımın sıfıra inmesi ileri alınarak gerçekleştirilen bir SS tekniğidir. Anahtarlama kayıplarının geri kazanıldığı bu teknik, ancak modern hücrelerle sağlanabilir ancak bu teknik ek eleman gerektirdiği için devrenin boyutunun artmasına ve ek maliyete sebep olur [16].

2.3.2.4.Sıfır Gerilimde Geçiş (ZVT)

ZVT, kesime girme esnasında gerçekleştirilen ileri bir SS tekniğidir. Bu teknikte amaç güç anahtarı uçlarındaki gerilimi kısa süreli bir kısmi rezonansla sıfıra düşürmek ve bu gerilim sıfırda tutulurken kontrol sinyali uygulamaktır. Böylece, anahtar üzerindeki enerji kaybı tamamen yok edilir ve mükemmel bir iletme girme işlemi sağlanır. Gerçekleştirilen bu teknikte de hem ZVS hem de ZCS'nin sağladığı söylenebilir. Anahtarlama kayıplarının geri kazanıldığı bu teknik, ancak modern hücrelerle sağlanabilir ancak bu teknik ek eleman gerektirdiği için devrenin boyutunun artmasına ve ek maliyete sebep olur [17].

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1. Materyal

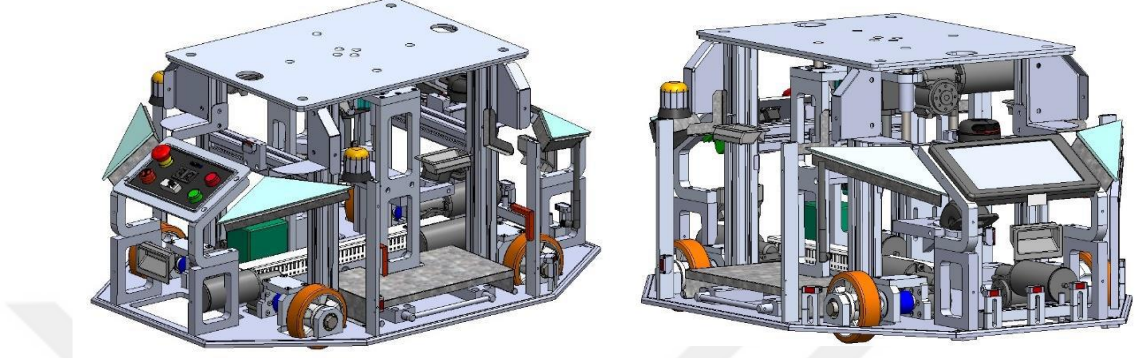
Bu kısımda yapılan otomatik yönlendirmeli aracın Şekil 3.1’de yer alan blok şemaya göre tasarımı yapılacaktır. Tasarıma uygun olarak yük taşıma ve hareket motorları seçilecek, elektronik komponentler ve yazılımın algoritma tasarımı yapılacaktır. Elektronik kart çizimleri Altium Designer programında ve simülasyon çalışmaları ise LTspice programında yapılacaktır. Yapılan çalışmada kullanılan tüm malzemelerin detaylı özellikleri ve tasarlanan DC motor sürücü kartın yapım aşamaları, tasarımında dikkat edilecek hususlar detaylı şekilde bu kısımda anlatılacaktır.



Şekil 3.1. Blok şema

3.1.1. OYA Mekanik Tasarım

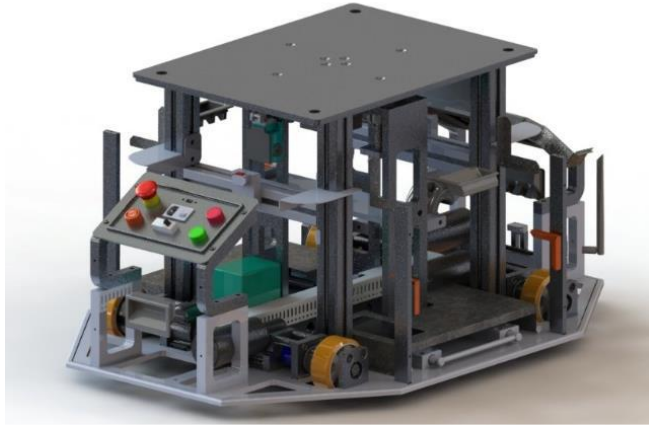
Robotun mekanik tasarımı, yük taşıyabilmesi için önemli kilit noktadır. Elektronik tasarım parçalarının, güç ünitesinin doğru şekilde konumlandırılıp, aynı zamanda da yükü eşit bir şekilde taşıyabilen bir şase tasarımına ihtiyaç vardır.



Şekil 3.2. Robot gövde tasarımı

Öncelikle yük taşıyacak olan şase malzemesi mukavemet özellikleri ve imalat kolaylığı göz önünde bulundurularak 7075 serisi alüminyum malzeme seçildi. Yük kaldırma noktaları 4 noktadan desteklenerek, yükü sağlam ve emniyetli bir şekilde taşınması hedeflendi.

4 adet hareket motoru ve 1 adet yük kaldırma motoru şase üzerinde konumlandırıldı. Elektronik tasarımı oluşturan ana kart, güç ünitesi, koruma ekipmanları ve ekran, şase üzerine konumlandırıldı. İç montajın tasarım görüntüsü aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.3. Güdümlü robot iç montaj görüntüsü

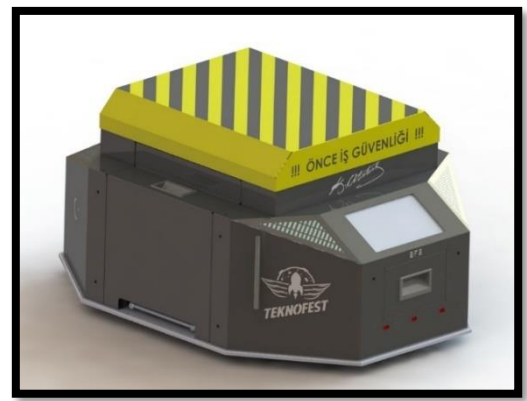
Taşıma sisteminin hesaplamalarını yaparken yük kaldırma açısı, sonsuz vida ve karşılık dişlisi malzemeleri, yağlama şekli, yük ağırlığı, kaldırma hızı, vida hatvesi, vida bölüm dairesi çapı, vida ağız sayısı, hesap emniyet faktörü, tahrik sisteminin verimi gibi değerlere dikkat edilmiştir. Kaldırıcı tahrik sistemi ve hareket mekanizması tasarımı aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.4. Kaldırıcı tahrik sistemi ve hareket mekanizması tasarımı

Güç kaynağı için seçilen ürünün yerini tasarım içerisinde kolaylıkla müdahale edilebilecek bölgeye yerleştirildi. Montajlama işleminde sac malzemeler kullanıldı. Robotun çalışmasını etkileyebilecek olumsuz bir durum oluşmaması için güç kaynağı koruyucu kafes içerisine alındı.

Robotun taşıyıcı ünitesi, hareket, taşıma ve güç kaynağı grubunu tasarıma ekledikten sonra dış giydirmе grubunun imalata uygun tasarımı yapıldı. 3D tasarım programında sac-metal tasarımı bölümünde dış sacı imalat kurallarına uygun olarak tasarlandı. Dış sac imalat modelinin tamamlanmış hali Şekil 3.5’te verilmiştir.



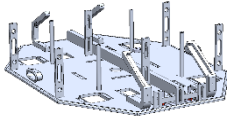
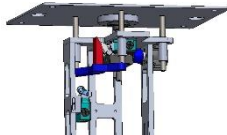
Şekil 3.5. Dış sac imalat modeli

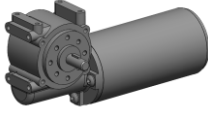
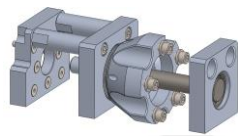
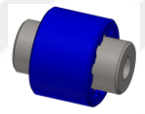
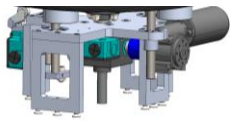
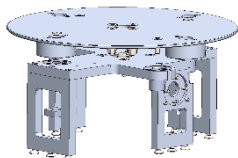
Robot iç kısımlarında bulunan ana kontrol kartı, motor sürücü kartı, haberleşme kartı, QR okuyucu modülü, şase zeminine yerleştirilirken elektronik gürültü oluşturmayacak şekilde planlandır. Robotun kullanım ergonomisini arttıracak, dış sacın sağ ve sol kısımlarına ağırlık merkezinde sabit kalabilen açılır mıknatıslı kapaklar tasarlandı.

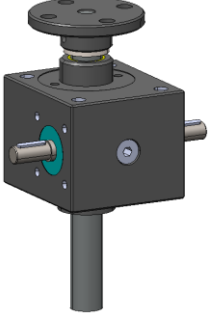
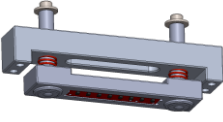
Gövdenin ön yüzünde bulunan “önce iş güvenliği” yazısı ile robotun mekanik, elektronik ve yazılımsal olarak alınan önlemlerin vurgusu yapıldı. Kullanıcı ara yüz tasarımı yapılarak, robotun anlık olarak izlenebilen verileri aynı zamanda gövde üzerinde yer alan sıvı kristal ekran (LCD) ile izlenebilir hale getirilmiştir. Acil durumlarda kolay müdahale edilebilecek panel tasarımı Şekil 3.5’te verilmiştir.

3.1.1.1. Mekanik Malzemeler

Tablo 3.1. Mekanik malzemeler

MEKANİK MALZEMELER VE EKİPMANLAR		
MALZEME ADI	GÖRSEL	AÇIKLAMA
Taşıyıcı Ünite		Taşıyıcı Ünite tüm robotun gövdesi rolünü üstlenmektedir. Tüm parçalar taşıyıcı gövde üzerine sabittir. Malzemesi 10mm’lik 7075 serisi alüminyumdur.
Dış Saclar		Dış saclar robotumuzun vereceği ilk izlenimin en önemli parçalarıdır. Hem dış çizgimizi iyi tutmalı hem de iç mekanizmaları iyi koruma altına almalılar. Robot içerisindeki döner aksamların iş güvenliği riski yaratmaması içinde koruyucu rolü üstlenmektedir. Malzemesi 0.5mm’lik St37 dir. 1250x2500mm lik tabakadan okulumuzdaki lazer kesim ve abkant tezgahlarında üretilecektir.
Hareket tahrik mekanizması		Hareket tahrik mekanizmasının çalışma prensibi; motordan aldığı tahriki elastik dişli tip kapline aktarır, kaplin ise aldığı tahriki tekerleğe aktararak robotun ileri- geri hareket etmesi sağlar. Bu mekanizma içerisindeki yataklama parçaları ve yan duvarlar 6000 serisi alüminyum malzemeden imal edilecektir.

Teker mekanizması hareket motorları		Tekerlere tahrik verecek motorlar %100 yerli üretim yapan firmadan seçilmiştir. Redüktörlü akuple motordur. Özellikleri ,24V DC, 115 rpm, nominal çalışma torku 6 Nm, kilitleme torku 20 Nm, Redüktör oranı 30:1 ‘dir.
Tekerlekler		Hareket mekanizması tekerleri %100 yerli üretim yapan firmadan seçilmiştir. Yedek teker serisi ile standart olarak satılmaktadır. Çapı 100mm, genişliği 35mm, 250 kg Taşıma kapasitesi olarak seçilmiştir. Alüminyum kasnak, balık sırtı poliüretan kaplama (95 Shore A), ağır sanayi tipi tekerleğidir.
Hareket tahrik mekanizması yataklama parçaları ve yan duvarlar		Hareket tahrik mekanizması yataklama parçaları ve yan duvarlar 6000 serisi alüminyum malzemelerden planlanmaktadır. İmalatları tasarıma uygun bir biçimde okulumuzdaki talaşlı üretim tezgahlarında yapılacaktır.
Yuvarlanmalı yataklar		Hareket tahrik mekanizması içerisinde SKF marka plastik kapaklı 6202 ve 6005 serili rulmanlar kullanılacaktır.
Elastik dişli tip kaplin		Tahrik mekanizmalarında hareketin aktarılması noktasında kullanılmaktadır.
Kaldırma mekanizması		Redüktörlü elektrik motoru tahriğini elastik tip dişli kapline aktaracak, kaplin aldığı tahriği vidalı kaldırıcıya yöneltecek, vidalı kaldırıcı 4 yönlü yataklaması ile rijit bir şekilde yukarı- aşağı hareketini gerçekleştirecektir. Hareketin sonlandırma görevini ise limit anahtarlar üstlenecektir.
Kaldırma mekanizması yataklama parçaları ve yan duvarlar		Kaldırma mekanizmasındaki tahrik sistemlerinin rijit bir yapıda olması ve düzgün bir şekilde yataklanabilmesi için bu özel imalat parçaları kullanılacaktır.

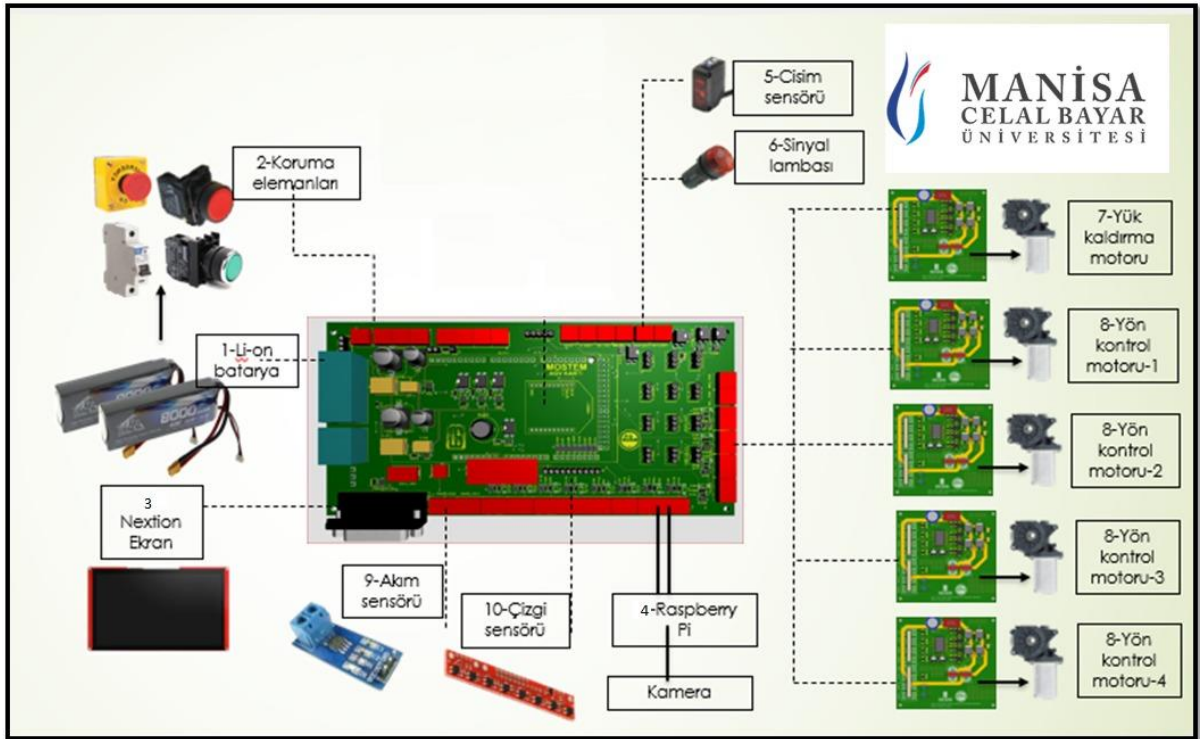
Dişli kaldırıcı		Kaldırma mekanizmasındaki dairesel hareketi doğrusal harekete dönüştürecek dişli kaldırıcı mekanizmasıdır. Sistemimize uygun olarak seçimi yapılmıştır. Maksimum taşıma kapasitesi 5 kN dur. Standard malzeme olarak satılmaktadır.
Doğrusal Rulman		Kaldırma mekanizmasındaki doğrusal hareketin rijit bir biçimde yataklanmasını sağlamaktadır. Kaldırma merkezinin çevresinde çap16mm'lik indüksiyonlu krom kaplı miller ile 4 adet olacak şekilde tasarlanmıştır.
Limit switch		Kaldırma mekanizmasındaki hareketin sonlandırılması işini limit switchler ile yapılacaktır.
Ekran koruyucu çerçevesi		Bilgilendirme ekranının çerçevesi kendi tasarımımızdır. 3D yazıcıda ile imal edilecektir.
Çizgi izleyen sensör mekanizması		Çizgi izleyen sensörünün çizgi okuma mesafesi çok minimum seviyede olduğu için ve zemin sıkıntılarında okuma problemi yaşamaması için zemin ile hep aynı mesafede kalması beklenmektedir. Bunun için yaylı bir mekanizma tasarladık bu sayede yerdeki çizgi ile hep aynı mesafede kalması planlandı.
Sensör mekanizması tekerleği		Sensör mekanizması tekerleği zemin ile sadece noktasal sürtünme yaşaması için standart bilyeli masaüstü taşıyıcı kullanılacaktır.
Sensör mekanizması yayı		Sensör mekanizması yay sayesinde hep zemine basması için kullanılacaktır.

3.1.2. OYA Elektronik Tasarım

Robotun elektronik aksamaları Şekil.3.6’da yer alan gösterime göre dijital giriş-çıkış sayısı, analog giriş-çıkış sayısı, kullanılacak sensör sayısı ve çeşitliliği, gerekli olan akım ve gerilim değerler araştırılarak en uygun şekilde tasarlanmıştır.

3.1.2.1. Anakart

Ana kart, robotun otonom çalışmasını sağlayan girişlerden alınan bilgilerin, mikrodenetleyici (MCU) sayesinde sorgulanıp, çıkış elemanlarını kontrol eden kısımdır. MCU olarak Arduino MEGA 2560 kullanılmıştır.



Şekil 3.6. Ana kontrol kartı blok şeması

Tablo 3.2. Arduino MEGA 2560 özellikleri

MCU	ATmega2560
Çalışma Voltajı	5V
Besleme Voltajı	7-12V
Besleme Voltajı Sınırı	6-20V
Dijital I/O Pinleri	54(14'ü PWM Çıkışı)
Analog Giriş Pin Sayısı	16
I/O Pinleri Akımı	40mA
3.3V Pin Akımı	50mA
Flash Hafıza	256 KB (8kB'ını bootloader kullanıyor)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Frekansı	16 MHz

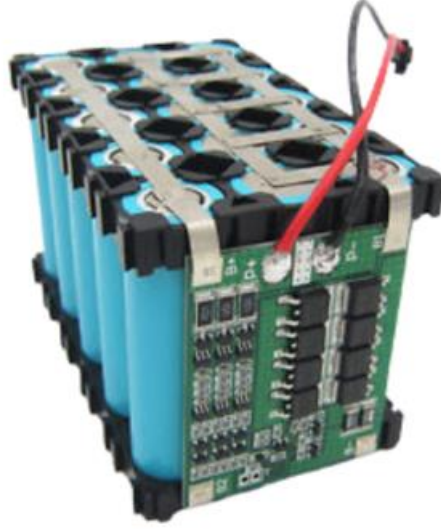
ATmega2560 tabanlı bir Arduino kartıdır. 54 dijital giriş çıkış pini vardır. Bunlardan 14 tanesi PWM çıkışı olarak kullanılabilir. 16 tanesi analog giriş, 4 tanesi UART (serial port), 16 MHz kristal osilatörü, USB bağlantısı, adaptör girişi, ICSP çıkışı ve bir reset butonu vardır [17].

3.1.2.2. Li-Ion Batarya

Lityum İyon (Li-Ion) pillerin nominal voltajı 3,6V olarak kabul edilir. Tam şarj olduğunda 4,2V seviyesine ulaşırlar. Şarj ve deşarj işlemleri batarya yönetim sistemleri (BYS) tarafından kontrol edilir.

Li-Ion piller, voltajın arttırılması için hücrelerin bir dizi oluşturacak şekilde seri olarak bağlanması daha sonra kapasiteyi arttırmak için dizinin paralel olarak bağlanmasıyla oluşturulmuştur. Dizideki herhangi bir hücrenin şarj durumu diğer hücrelerden farklı olduğunda pilin kapasitesi düşer. Li-Ion piller şarj edilirken BYS tarafından şarj edilmelidir. Bu sistem bataryadaki hücrelerin eşit olarak şarj edilmesinden sorumludur. Li-Ion piller şarj edilirken aktif şekilde dengeleme prensibine göre şarj edilirler. Aktif dengeleme, yüksek kapasiteye sahip hücrelerdeki enerjiyi düşük kapasitedeki hücrelere çok hızlı şekilde aktararak gerçekleştirilir [18].

OYA da kullanılan Li-Ion piller 7S(7x3,6V=25,2V), 13500 mAH değerlerine sahiptir. BYS ise bu değerlere uygun olarak seçilmiştir.



Şekil 3.7. Li-on pil grubu ve BYS

3.1.2.3. Kumanda ve Koruma Elemanları

Sigorta, devreye seri bağlanan bağlı bulunduğu hattı kısa devre ve aşırı akımlara karşı koruyan devre elemanıdır. Robotumuzda 25 Amper değerinde C tipi otomatik sigorta bulunmaktadır. Devrede meydana gelebilecek aşırı akım ve kısa devrelere karşı koruma görevi yapmaktadır.

Kumanda elemanları, robotumuzu başlatma, durdurma ve acil olarak durdurma şeklinde senaryolar oluşturularak kumanda etmek için kullanılmıştır. Başlatma sinyali operatör tarafından sağlanmaktadır. Gerekli görüldüğü takdirde durdurma işlemi yine operatör tarafından sağlanabilmektedir.



Şekil 3.8. Kumanda ve koruma elemanları

3.1.2.4. Nexion Dokunmatik Ekran

Nexion, insan makine arayüzü (HMI) ve grafik kullanıcı arabirimi (GUI) sayesinde proje geliştirme için yerleşik işlemci ve belleğe sahip, dokunmatik ekranını Nexion Editor yazılımıyla birleştiren bir HMI çözümüdür. NEXTION Editor

yazılımını kullanarak, bileşenleri (grafik, metin, düğme, kaydırıcı vb.) sürükleyip bırakarak ve bileşenlerin ekran tarafında nasıl etkileşime gireceği ayarlanabilir. Nextion HMI ekranı, çevresel MCU'nun harekete geçebileceği olay bildirimleri sağlamak için seri transistör-transistör lojik (TTL) (5V, TX, RX, GND) aracılığıyla çevresel MCU'ya bağlanır [19].



Şekil 3.9. Nextion robot tasarım ekranı

Tablo 3.3. Nextion NX1060P101 ekran özellikleri

Nextion Modeli	NX1060P101
Çalışma Gerilimi	5V
Çalışma Akımı	800mA
Önerilen Güç Kaynağı	5V-2A
Dijital I/O Pinleri	8 Dijital genişletilmiş GPIO
I/O Pinlerinin Akımı	1mA
Dokunma türü	Kapasitif
Çözünürlük	1024×600 piksel
Renk	IPS 65K 65536 renk
Boyut	258mm(L)×152mm(W)×11.5mm(H)
Flash Bellek	120 MB
RAM	512 KB
EEPROM	1024 B
Serial Port Mode	3.3V/5.0V TTL

3.1.2.5. Raspberry Pi

Raspberry Pi üzerinde bulunan microSD kartın içerisine Linux ya da Windows 10 kurularak bilgisayar ile yapılabilecek birçok işlem yapılabilir, akademik çalışmalarda kullanmak, yazılım geliştirmek, sunucu olarak kullanmak, eğitim amaçlı öğrenci bilgisayarları yerine kullanmak gibi çeşitli amaçlar için kullanılabilir. Raspberry Pi, klavye ve monitör bağlayabileceğiniz mini bir bilgisayardır.

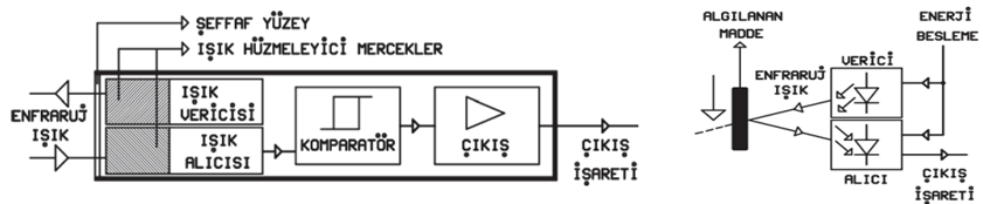
ARM7 işlemciye sahip olan bu kart, web arayüz programları, temel ofis uygulamaları gibi normal bir bilgisayarda yapabileceğiniz işlemleri yapmanıza olanak sağlamaktadır. Ayrıca yüksek çözünürlüklü (HD) video oynatabilme yeteneğine sahiptir [20].



Şekil 3.10. Raspberry pi

3.1.2.6. Cisim Sensörleri

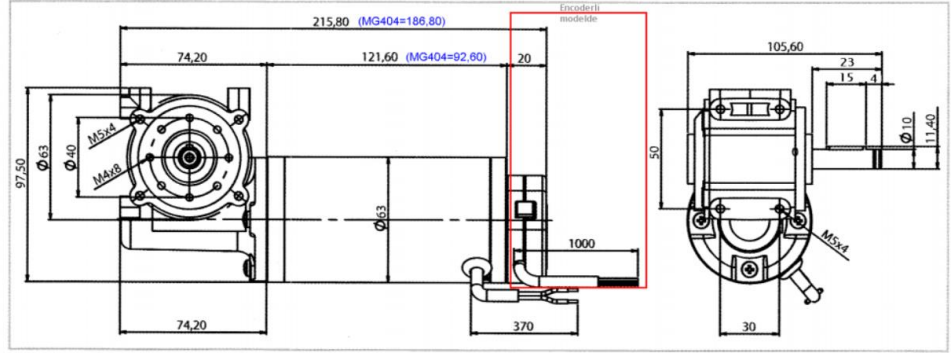
Cisim sensörleri içerisinde yer alan ışın yayıcı kızıl ötesi led ile bu ışınları algılayan kızılötesi dedektör çiftinden oluşan elemandır. OYA da cisimden yansımali sensör kullanılmıştır. Bu sensörün çalışması şu şekildedir; sensörden yayılan kızıl ötesi ışınların cisme çarparak cisimden tekrar sensörün alıcı kısmına geri gelmesi şeklinde meydana gelir [21].



Şekil 3.11. Cisimden yansımali sensörü blok ve çalışma prensip şeması

3.1.2.7. Doğru Akım Motoru

DC motor, elektrik enerjisini hareket enerjisine dönüştüren makinedir. Motorun içinde yer alan bobinlere elektrik akımı uygulanırsa, motorun içerisinde yerleştirilmiş sabit mıknatıslara zıt yönde oluşacak olan manyetik kuvvetin etkisi ile hareket etme prensibine dayanır. Oluşan akımın yönünün, sürekli olarak motor içerisinde yer alan sabit mıknatıslara ters bir manyetik alan oluşturacak şekilde değiştirilmesi gereklidir. Bu değişimi fırçalı motorlarda, fırçaların motorun sarımlarına temas etmesi ile, fırçasız motorlarda ise hız kontrol devresi tarafından yapılır. Robotumuzda basit kullanım ve düşük maliyetlerden dolayı fırçalı DC motorlar tercih edilmiştir.



Şekil 3.12. DC motor teknik resim çizimi

Tablo 3.4. DC motorun özellikleri

Voltaj	24V
Anma Gücü	120W
Devir(rpm)	193
Akım	5A
Kilitlenme Torku	13 Nm
Redüksiyon Oranı	15:1
Ağırlık	1300 gr

3.1.2.8. ACS712 Akım Sensörü

ACS712 Akım Sensörü, alternatif akım (AC) ve DC akımlarının ölçümü için kullanılabilen Hall Effect'e dayanan IC entegre ürünüdür. ACS712 Akım Sensörünün çıkışına gelince, AC veya DC akımlarla orantılı bir analog voltaj üretir. Bu çıkış AC veya DC seçimine göre değişir.



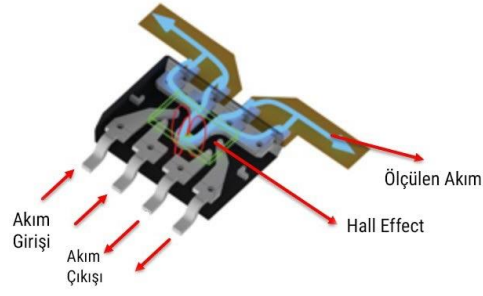
Şekil 3.13. ACS712 (30A) sensörü

ACS712 Sensörünün mevcut algılama alanına göre üç çeşidi vardır. Optimize edilen aralıklar $\pm 5A$, $\pm 20A$ ve $\pm 30A$ 'dır. Varyanta bağlı olarak, çıkış hassasiyeti de aşağıdaki gibi değişir:

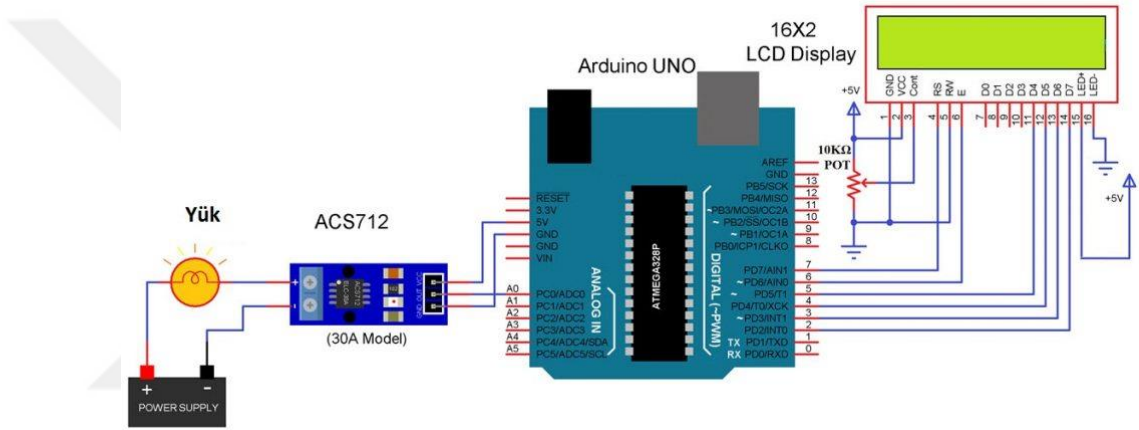
Tablo 3.5. ACS Akım sensörlerinin hassasiyetleri

ACS712 Modeli	Optimize Akım aralığı	Çıkış Hassasiyeti
ACS712 ELC-05	$\pm 5A$	185 mV / A
ACS712 ELC-20	$\pm 20A$	100 mV / A
ACS712 ELC-30	$\pm 30A$	66 mV / A

ACS712 Akım Sensörü Hall Etkisine dayanmaktadır. Şekil 3.14'te giriş ve çıkış pinlerinden akan akım bakır şerit üzerinden geçerek manyetik alan oluşturur. Oluşan manyetik alan, Hall Etkisi sensörü tarafından algılanır. Hall Effect sensörü daha sonra bu manyetik alanı uygun voltaja dönüştürür. Bu yöntemde, giriş ve çıkış tamamen yalıtılmıştır.



Şekil 3.14. Çalışma prensip şeması



Şekil 3.15. ACS712 akım sensörü kullanım şeması

ACS712 Arduino Kodu:

```
#include <LiquidCrystal.h>

// LCD AYARLARI
LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2);

const int analogIn = 0; //ACS712 SENSOR BAĞLANTI PINI
int mVperAmp = 66; // 185 5A MODÜL İÇİN , 100 20A MODÜL İÇİN VE 66 30A
MODÜL İÇİN
int RawValue = 0;
int ACSoffset = 2500;
double Voltage = 0; //VOLT HESABI
double Amps = 0; // AMPER HESABI
void setup() {
```

```

// LCD AYARI
lcd.begin(16, 2);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("ACS 712");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print(" AKIM OLCUM ");
delay(200);
}

void loop()
{
  RawValue = analogRead(analogIn); // ANALOG DEĞERİ OKUNUYOR
  Voltage = (RawValue / 1024.0) * 5000; // VOLTAJ HESABI YAPILIYOR
  Amps = ((Voltage - ACSoffset) / mVperAmp); // AKIM HESABI YAPILIYOR
  lcd.clear(); // clears the display of LCD
  delay(1000); // delay of 1 sec
  lcd.display();
  // VOLTAJ EKRANA YAZ
  lcd.setCursor(1, 0);
  lcd.print("Voltaj= ");
  lcd.setCursor(8, 0);
  lcd.print(Voltage, 3);
  lcd.setCursor(12, 0);
  lcd.print("mV");
  // AKIMI EKRANA YAZ
  lcd.setCursor(1, 1);
  lcd.print("AMPER= ");
  lcd.setCursor(7, 2);
  lcd.print(Amps, 3);
  lcd.setCursor(11, 2);
  lcd.print("A");
  delay(250);
}

```

3.1.2.9. Çizgi Takip Sensörü QTR-8A

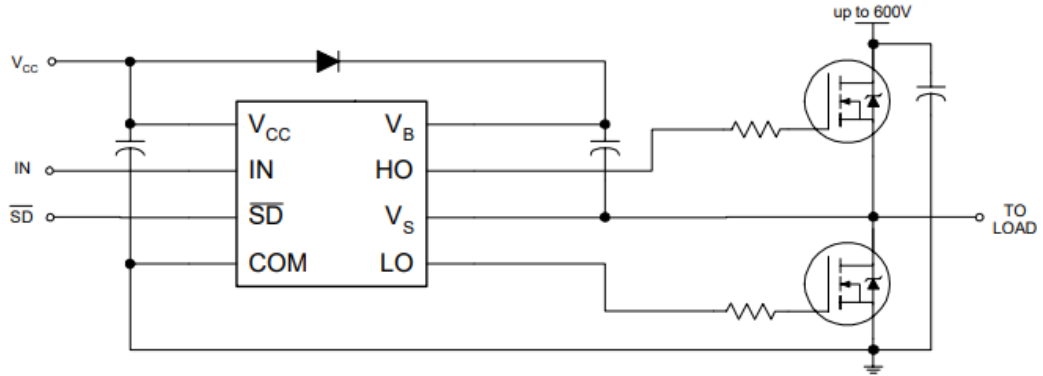
Bu sensör modülü, 9.525 mm aralık üzerine monte edilmiş 8 IR LED/fototransistör çiftine sahiptir, QTR-8A sensörü çizgi takibi yapan robotlarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır ancak genel amaçlı bir yakınlık veya yansıma sensörü olarak da kullanılabilir. Bu sensörler siyah ve beyaz rengi ayırt edebilirler. Kart üzerindeki her sensör ayrı bir analog voltaj çıkışı sağlar. Zeminin ışığı yansıtması veya cisimle olan mesafesine göre voltaj çıkışı analog olarak değişir. Yansıma arttıkça çıkış voltajı da yükselir [22].

Tablo 3.6. QTR-8A özellikleri

Boyutlar	75x 13x3 mm
Çalışma Voltajı	3.3V- 5V
Besleme Akımı	100mA
Çıkış Formatı	8 analog voltaj
Çıkış Voltaj Aralığı	0-Besleme voltajı
Optimum Algılama Mesafesi	3 mm
Önerilen Maksimum Algılama Mesafesi	6 mm
Ağırlık	3 gr

3.1.2.10.1. IR 2104(S) Sürücü Entegre

IR2104 Entegresi, yüksek ve düşük taraf referanslı çıkış kanallarına sahip yüksek voltajlı, yüksek hızlı, güçlü MOSFET ve IGBT sürücüleridir. Akım kanalı, 10 ila 600 volt arasında çalışan yüksek taraf konfigürasyonunda N-kanallı bir güç MOSFET'ini veya IGBT'yi sürmek için kullanılabilir [23].



Şekil 3.17. IR2104 Bağlantı Şeması [23]

Tablo 3.7. Sürücü maksimum değerleri [23]

Sembol	Tanım	Min.	Mak.	Birim
VB	Yüksek taraf kayan mutlak voltaj	-0.3	625	V
VS	Yüksek taraf değişken besleme offset voltajı	VB - 25	VB + 0.3	
VHO	Yüksek taraf değişken çıkış voltajı	VS - 0.3	VB + 0.3	
VCC	Düşük taraf ve lojik sabit besleme gerilimi	-0.3	25	
VLO	Düşük yan çıkış voltajı	-0.3	VCC + 0.3	
VIN	— Lojik giriş voltajı (IN & SD)	-0.3	VCC + 0.3	V/ns
dVs/dt	İzin verilen offset besleme voltajı	—	50	

Tablo 3.8. Sürücü önerilen çalışma koşulları [23]

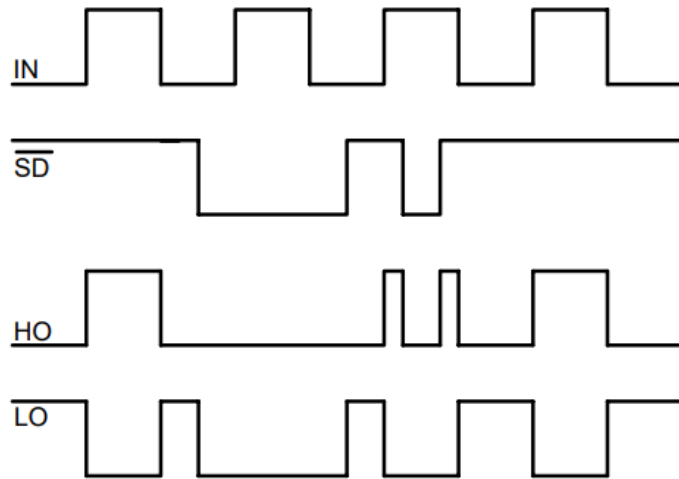
Sembol	Tanım	Min.	Mak.	Birimler
VB	Yüksek taraf besleme mutlak voltajı	VS + 10	VS + 20	V
VS	Yüksek taraf değişken besleme ofset voltajı	Not 1	600	
VHO	Yüksek taraf değişken çıkış voltajı	VS	VB	
VCC	Düşük taraf ve lojik sabit besleme gerilimi	10	20	
VLO	Düşük yan çıkış voltajı	0	VCC	
VIN	Lojik giriş voltajı (IN & SD)	0	VCC	
TA	Ortam sıcaklığı	-40	125	°C

Tablo 3.9. Sürücü dinamik elektriksel değerleri [23]

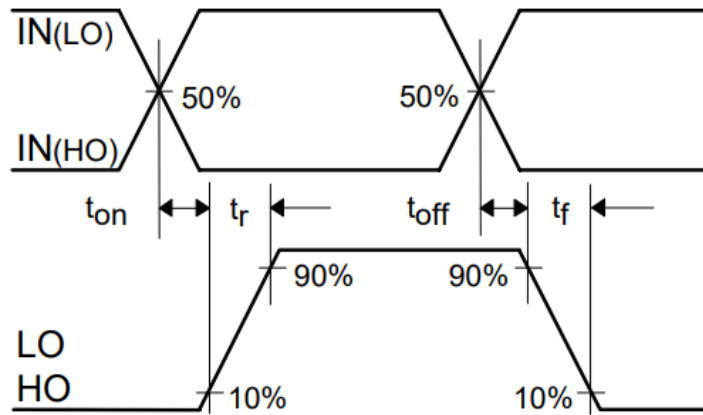
Sembol	Tanım	Min.	Tipik	Mak.	Birim	Test
Ton	Açma yayılma gecikmesi	—	680	820	ns	VS = 0V
Toff	Kapatma yayılma gecikmesi	—	150	220		VS = 600V
Tsd	Kapatma yayılma gecikmesi	—	160	220		
Tr	Açma yükselme süresi	—	100	170		
Tf	Kapanma zamanı	—	50	90		
DT	Ölü zaman, LS kapanmasından HS açılmasına kadar	400	520	650		
MT	Gecikme eşleştirme, HS ve LS açma/kapama	—	—	60		

Tablo 3.10. Sürücü sembol açıklamaları [23]

Sembol	Tanım
IN	Yüksek ve düşük yan geçit sürücüsü çıkışları (HO ve LO) için lojik giriş
SD	Kapatma için mantıksal giriş
VB	Yüksek taraf yüzer besleme
HO	Yüksek yan kapı tahrik çıkışı
VS	Yüksek taraf yüzer besleme dönüşü
Vcc	Düşük taraf ve lojik sabit besleme
LO	Düşük yan kapı tahrik çıkışı
COM	Düşük yan dönüş



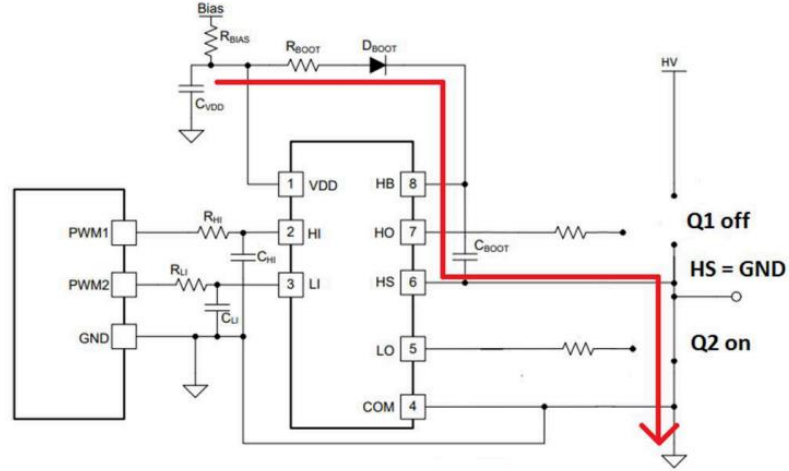
Şekil 3.18. Giriş/Çıkış zamanlama diyagramı [23]



Şekil 3.19. Anahtarlama zamanı dalga biçimi tanımları [23]

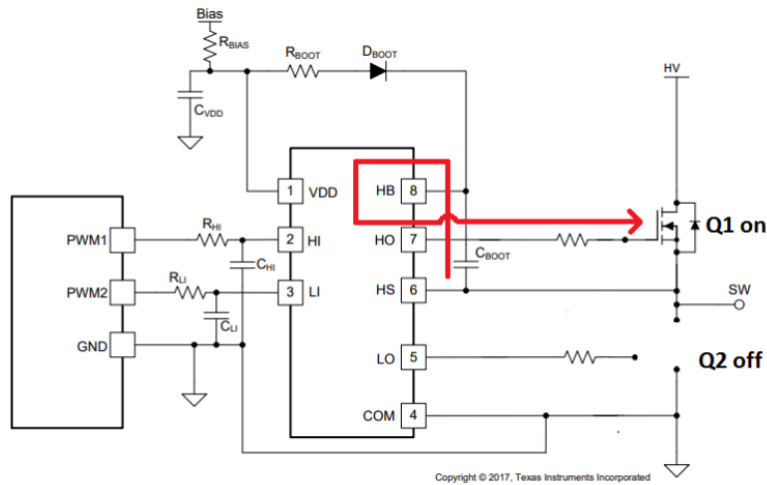
3.1.2.10.2. Önyükleme Kapasitörü

Yüksek taraf olan MOSFET'e öngerelime sağlamak için yarım köprü konfigürasyonlarında bir önyükleme devresi kullanılır. Şekil 3.20'de, basitleştirilmiş bir yarım köprü konfigürasyonunda bir önyükleme devresinin şarj yolunu göstermektedir [24].



Şekil 3.20. Önyükleme kapasitörü şarj yolu [24]

Düşük taraf MOSFET açıkken (yüksek taraf MOSFET kapalı), HS pini ve anahtar düğümü toprağa çekilir; VDD öngerelime beslemesi, baypas kapasitörü aracılığıyla önyükleme kapasitörünü önyükleme diyotu ve direnç aracılığıyla şarj eder.[24]



Şekil 3.21. Önyükleme kapasitörü deşarj yolu [24]

Düşük taraf MOSFET kapatıldığında ve yüksek taraf açık olduğunda, kapı sürücüsünün HS pini ve anahtar düğümü yüksek voltaj veri yolu HV'ye çekilir; önyükleme kapasitörü, depolanan voltajın bir kısmını (şarj sırası sırasında biriken), Şekil 3.21'de gösterildiği gibi geçit sürücüsünün HO ve HS pinleri aracılığıyla yüksek taraf MOSFET'e boşaltır [24].

3.1.2.10.3. Önyükleme Kapasitör Hesabı

Tasarım açısından bakıldığında bu en önemli bileşendir çünkü yüksek taraf anahtarını şarj etmek için yüksek tepe akımlarını kaynaklamak üzere düşük empedanslı bir yol sağlar. Genel bir kural olarak, bu önyükleme kapasitörü, yüksek taraf MOSFET'in kapısını %10'dan fazla tükenmeden çalıştırmak için yeterli enerjiye sahip olacak şekilde boyutlandırılmalıdır. Bu önyükleme kapağı, yüksek taraf MOSFET'in geçit kapasitesinden en az 10 kat daha büyük olmalıdır. Bunun nedeni, DC önyargısından ve sıcaklıktan kapasitans kaymasına ve ayrıca yük geçişleri sırasında meydana gelen atlanan döngülere izin vermektir. Kapı kapasitansı Denklem 3.1 kullanılarak belirlenebilir: [24]

$$C_g = \frac{Q_g}{V_g} \quad (3.1)$$

Q_g : gate şarj kapasitesi (Kullanılacak mosfetin bilgi dosyasından bakılacak),
 V_g : $V_{DD} - V_{BootDiode}$, $V_{BootDiode}$: Önyükleme diyotu boyunca ileri voltaj düşüşü.

Geçit yükü belirlendikten sonra önyükleme kapasitörü için minimum değer şu şekilde tahmin edilebilir: [24]

$$C_{boot} \geq 10 \times C_g \quad (3.2)$$

$$C_{boot} \geq \frac{Q_{total}}{V_{HB}} \quad (3.3)$$

$$Q_{\text{total}} = Q_G + I_{\text{HBS}} \times \frac{D_{\text{max}}}{f_{\text{sw}}} + \frac{I_{\text{HB}}}{f_{\text{sw}}} \quad (3.4)$$

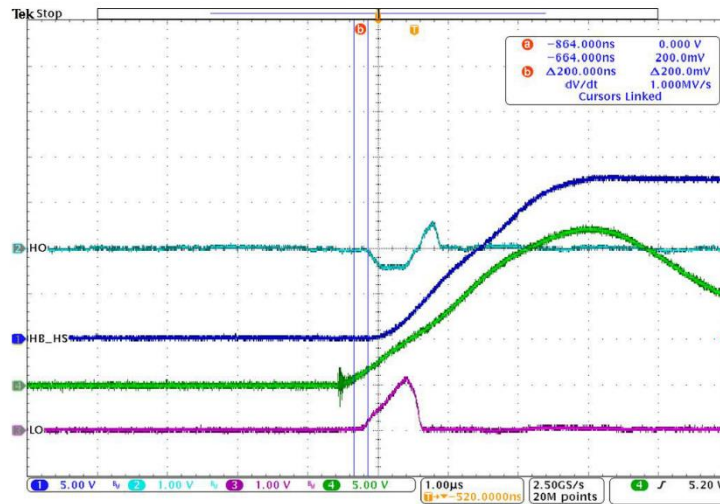
Q_G : Toplam gate şarj kapasitesi, I_{HBS} : HB'den VSS'ye kaçak akım, D_{max} : Maksimum görev döngüsü, $I_{\text{HB}} = I_{\text{HB}}$, $V_{\text{HB}} = V_{\text{DD}} - V_{\text{DH}} - V_{\text{HBL}}$, V_{DD} = Sürücü besleme voltajı, V_{DH} = Bootstrap diyot ileri voltaj düşüşü, V_{HBL} = HB UVLO düşme eşiği

Gerekli minimum önyüklemeye kapasitör değerinin altındaki değerlerin, sürücünün yüksek taraf FET'in zamanından önce kapatılmasına yol açabileceğini unutmamak önemlidir. Öte yandan, önyüklemeye kapasitörünün daha yüksek değerleri, bazı durumlarda (önyüklemeye kapasitörünü başlangıçta şarj ederken veya dar bir önyüklemeye şarj süresiyle) daha düşük dalgalanma voltajına ve daha uzun ters toparlanma süresine ve ayrıca önyüklemeye diyotu boyunca daha yüksek tepe akımına yol açar [24].

3.1.2.10.4. Önyüklemeye Kapasitör Direnci

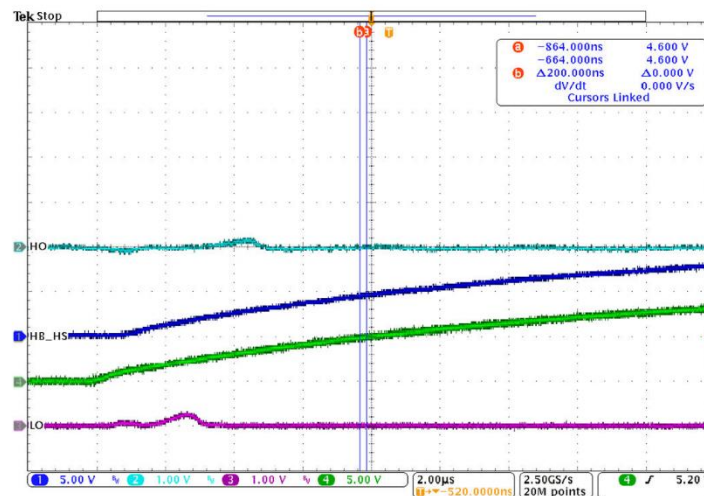
Önyüklemeye direncinin rolü, başlatma sırasında önyüklemeye diyotundaki tepe akımlarını sınırlamaktır; bu nedenle, Denklem 3.5'te verilen önyüklemeye kapasitörü ile bir zaman sabiti sağladığı için dikkatli bir şekilde seçilmelidir [24]:

$$\tau = \frac{R_{\text{BOOT}} + C_{\text{BOOT}}}{\text{Duty Cycle}} \quad (3.5)$$



Şekil 3.22. VDD/HB-HS hızlı artışı (Rboot = 0 Ohm) [24]

Şekil 3.22’de, LO(CH3) ve HO(CH2) üzerinde voltajda istenmeyen değişikliğe yol açan 0-Ohm’luk bir direnç kullanıldığında VDD (CH4) ve HB-HS (CH1) üzerindeki hızlı artışı göstermektedir. [24]

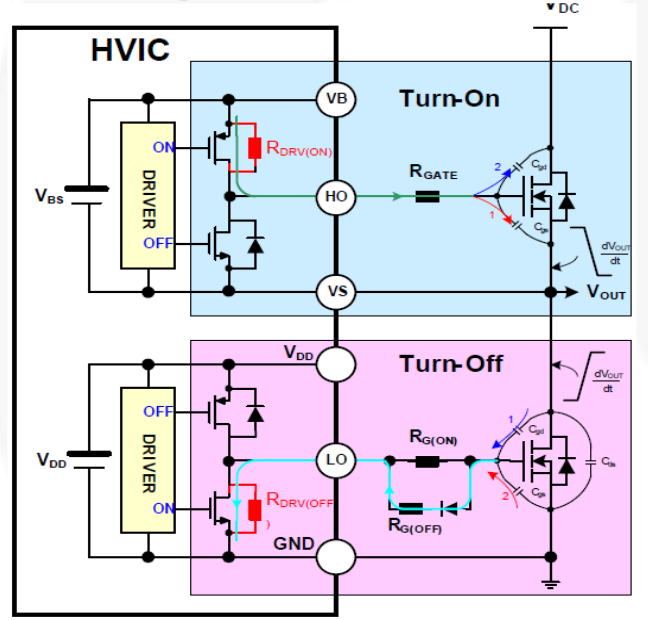


Şekil 3.23. VDD/HB-HS hızlı artışı (Rboot = 2.2 Ohm) [24]

Şekil 3.23'te biraz daha yüksek direnç değeri ($R_{boot} = 2,2 \text{ Ohm}$) kullanmanın bu sorunu nasıl çözdüğünü göstermektedir.

3.1.2.10.5. Gate Direnci Seçimi

Mosfetin anahtarlama hızı, gate sürücüsünün açma ve kapama akımını kontrol eden, açma ve kapama kapı dirençlerinin değerleriyle kontrol edilebilir. Şekil 3.24'te sürücü entegrenin MOSFET'in gate ucuna doğru uyguladığı açma ve kapama sırasındaki akım akış yolları gösterilmektedir [25].



Şekil 3.24. Turn-on ve Turn-off akımları [25]

3.1.2.10.6. Mosfet Turn-on Direnç Hesaplaması

Gate turn-on direnci $R_g(ON)$, anahtarlama süresi kullanılarak istenen anahtarlama süresini elde edecek şekilde seçilebilir. Anahtarlama süresini, besleme voltajını, V_{DD} 'yi (veya V_{BS}), kapı sürücüsünün eşdeğer direnci $R_{DRV(ON)}$ değerini belirlemek için mosfetin bilgi dosyasında yer alan Q_{gs} , Q_{gd} ve $V_{gs(th)}$ parametreleri gereklidir [25].

$$I_{g(avr)} = \frac{Q_{gs} + Q_{gd}}{t_{sw}} \quad (3.6)$$

$$R_{total} = R_g(on) + R_{drv(on)} = \frac{V_{dd} + V_{gs}}{I_{g(avr)}} \quad (3.7)$$

$$\frac{dV_{out}}{dt} = \frac{I_{g(avr)}}{C_{gd(off)}} \quad (3.8)$$

Formül yeniden düzenlenirse,

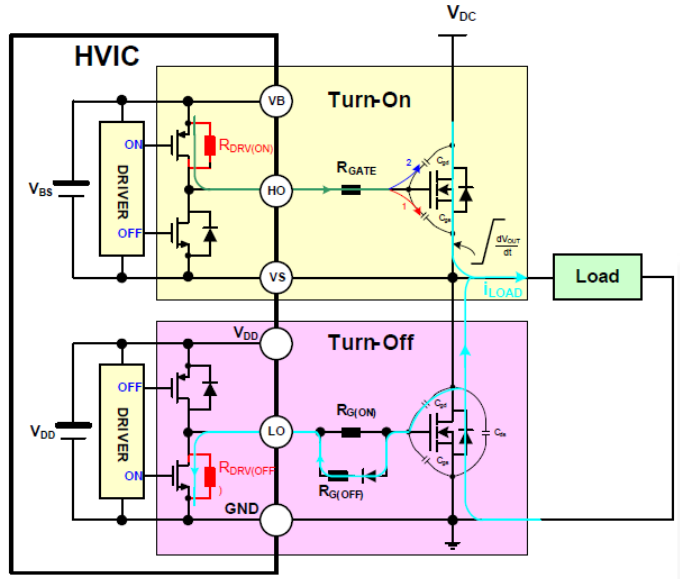
$$R_{total} = \frac{V_{dd} - V_{gs(th)}}{C_{gd(off)} \cdot \frac{dV_{out}}{dt}} \quad (3.9)$$

$I_{g(avr)}$ = Gate şarj akımı, Q_{gs} = Mosfet gate-source kapasitansı (mosfet datasheet), Q_{gd} = Mosfet gate-drain kapasitansı (mosfet datasheet), t_{sw} = MOSFET anahtarının açılma/kapanma süresi, $C_{gd(off)}$ =veri sayfasında C_{rss} olarak belirtilen Miller etkili kapasitördür, $R_{drv(on)}$ = Sürücü entegredeki mosfet iç direnci, $R_g(on)$ = Turn-on durumundaki direnç

3.1.2.10.7. Mosfet Turn-off Direnç Hesaplamaları

Kapatma direncinin hesaplanmasındaki en kötü durum, MOSFET'in kapanma durumundaki drenajının harici olaylar tarafından değişmeye zorlanmasıdır. Bu durumda, çıkış düğümünün dv/dt 'si, Şekil 3.25'de gösterildiği gibi, $R_{G(OFF)}$ ve $R_{DRV(OFF)}$ 'da akan C_{gd} üzerinden geçen parazitik bir akım indüklenir.

Aşağıda, çıkış kapatıldığında kapatma direncinin nasıl hesaplanacağı açıklanmaktadır. dv/dt , Şekil 3.25'de gösterildiği gibi eşlik eden MOSFET'in açılmasından kaynaklanır. Bu nedenle, kapatma direncinin, uygulamanın en kötü durumuna göre hesaplanması gerekir [25].



Şekil 3.25. Alçak Taraf anahtarı kapalı, yüksek taraf anahtarı açık [25]

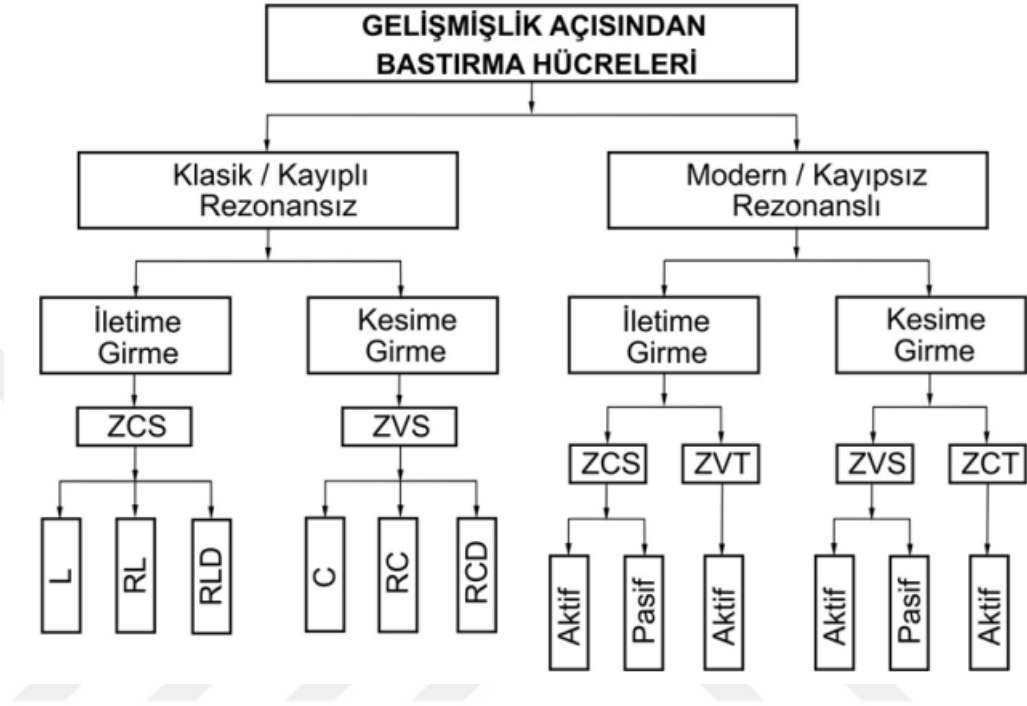
$$R_{g(off)} \leq \frac{V_{gs(th)}}{C_{gd} \cdot \frac{dv_{out}}{dt}} - R_{(drv)} \quad (3.10)$$

$R_{g(off)}$ = Turn-off durumundaki direnç, $V_{gs(th)}$ = Mosfeti iletme sokacak gate-source arası gerilim (mosfet datasheet), C_{gd} = Mosfet gate-drain kapasitansı (mosfet datasheet).

3.1.2.11. Bastırma Devreleri

Bastırma hücresi, güç elemanının iletim ya da kesime girme esnasında akım ve gerilimin üst üste binmesini önlemek ve SS sağlamak üzere tasarlanır. Bastırma hücresi tasarlanırken güç elemanın üzerinden geçecek akım ve güç elemanı üzerine düşecek gerilimin dikkate alınarak tasarlanması gerekir [26].

Rezonansız hücreler klasik ve rezonanslı olanlar ise modern hücrelerdir. Buradaki rezonans, sadece anahtarlama işlemleri esnasında etkili olan geçici veya kısmi bir rezonanstır. Kısmi rezonans, temel olarak, bastırma işleminin kısa süreli ve mükemmel olması ile bastırma enerjisinin geri kazanılmasını sağlar [26].



Şekil 3.26. Bastırma hücreleri şema gösterimi [26]

3.2. Yöntem

Yapılan çalışmada OYA için tasarlanan SS yöntemiyle DC motor sürücü kartının tasarımı “Altium Designer” programıyla yapılmıştır. Simülasyon çalışmaları LTspice programıyla simüle edilerek devre kartı bu doğrultuda tasarlanmıştır.

3.2.1. Sistemin Teknik Özellikleri

Tablo 3.11. Sürücü kart özellikleri

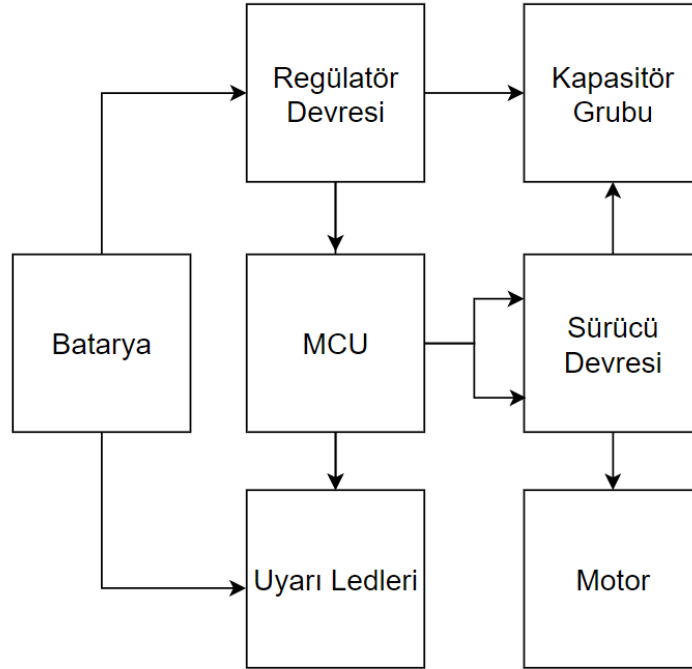
Besleme Voltajı	24 Volt
Anahtarlama Akımı	10 Amper
Kullanılan Sürücü Entegre	IR2104
Kullanılan Mosfetler	IRF3205
Kart boyutu	100mm x 100mm
Anahtarlama Frekansı	32kHz
Soğutma	Doğal soğutma

Tablo 3.12. OYA özellikleri

Yük taşıma kapasitesi	100 kg
Pil gücü	13500 mAh, 24 volt
Motor gücü	24 volt, 5 amper, 120 watt
Menzil	5000 metre
Ağırlık	70 kg

3.2.2. Tasarlanan Sürücünün Genel Yapısı

Sürücü kartı, Şekil 3.27’de belirtilen blok şemadaki gibi tasarlanmıştır.

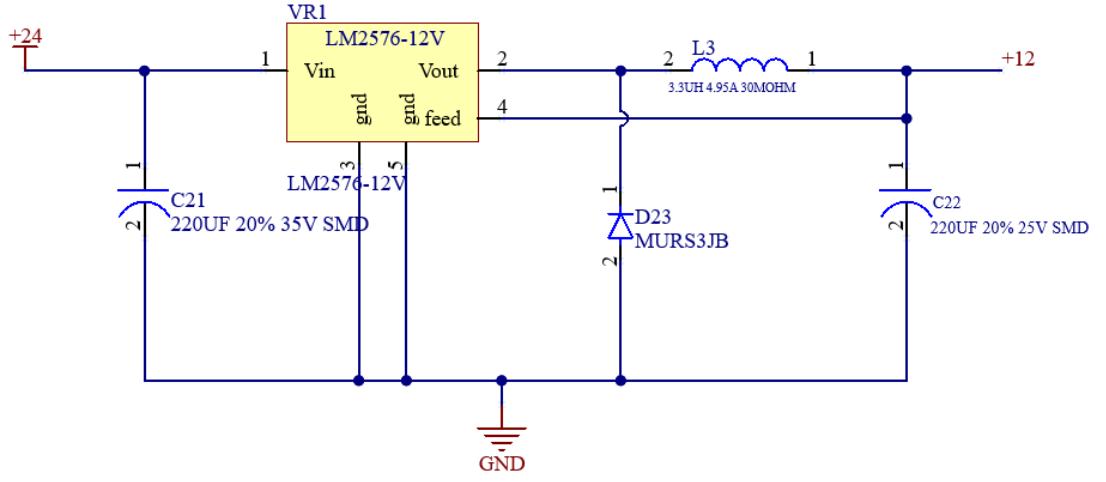


Şekil 3.27. Sürücü devresi blok şeması

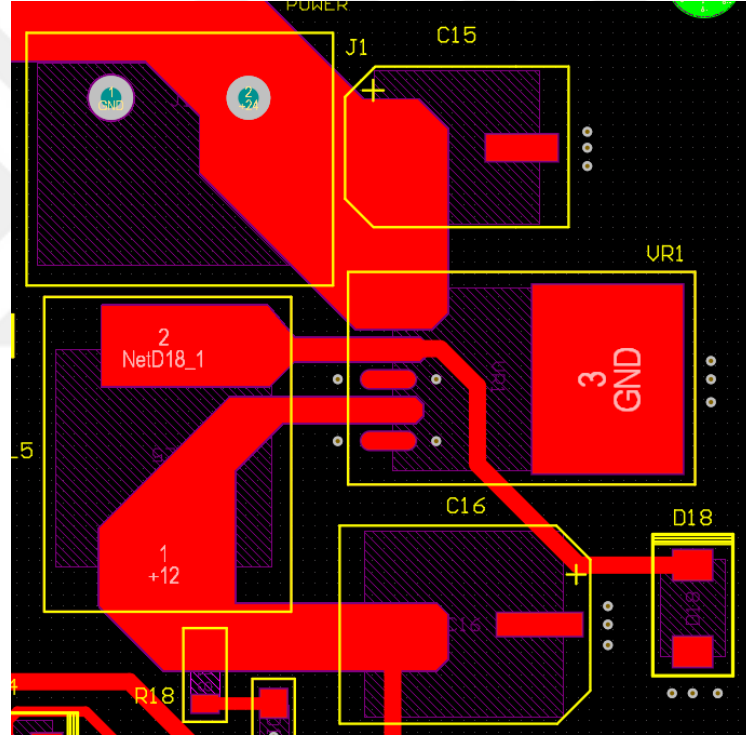
3.2.3. Regülatör Devresi

Şekil 3.28’de yer alan görüntüde LM2576 regülatörü kullanılarak gelen voltaj, IR2104 için gerekli olan 12 volt’a regüle edilir.

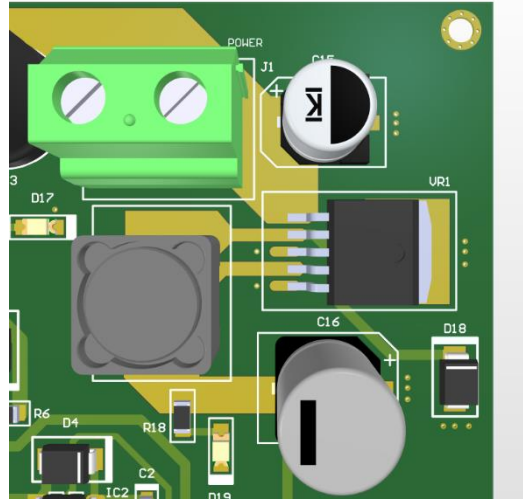
12 volt’a regüle edilebilmesi için katalog bilgileri Ek 1’de yer alan LM2576 voltaj regülatör entegresi kullanılmaktadır. Bu regülatör DC-DC Converter özelliğine sahiptir. LDO voltaj regülatörler yüksek amper değerlerinde ısınma problemi olur iken, DC-DC dönüştürücü regülatörlerde yüksek akımlarda ısınma problemi olmamaktadır. Girişe gelen 24V besleme gerilimi çıkışta 12V sabit gerilime indirgenebilmekte ve aynı zamanda maksimum 3A’ya kadar akım desteklemektedir. Burada kullanılan kapasiteler LM2596 entegresinden çekilen akıma göre dalgalanmayı filtre etmektedir.



Şekil 3.28. Regülatör devresi şematik çizimi



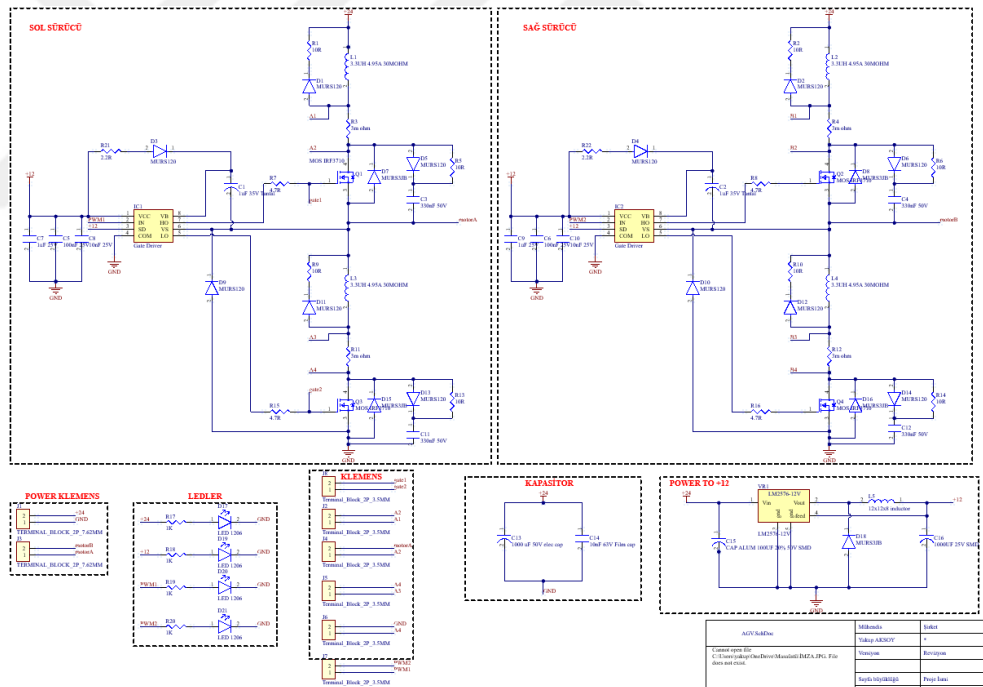
Şekil 3.29. Regülatör devresi baskı devre kartı (PCB) çizimi



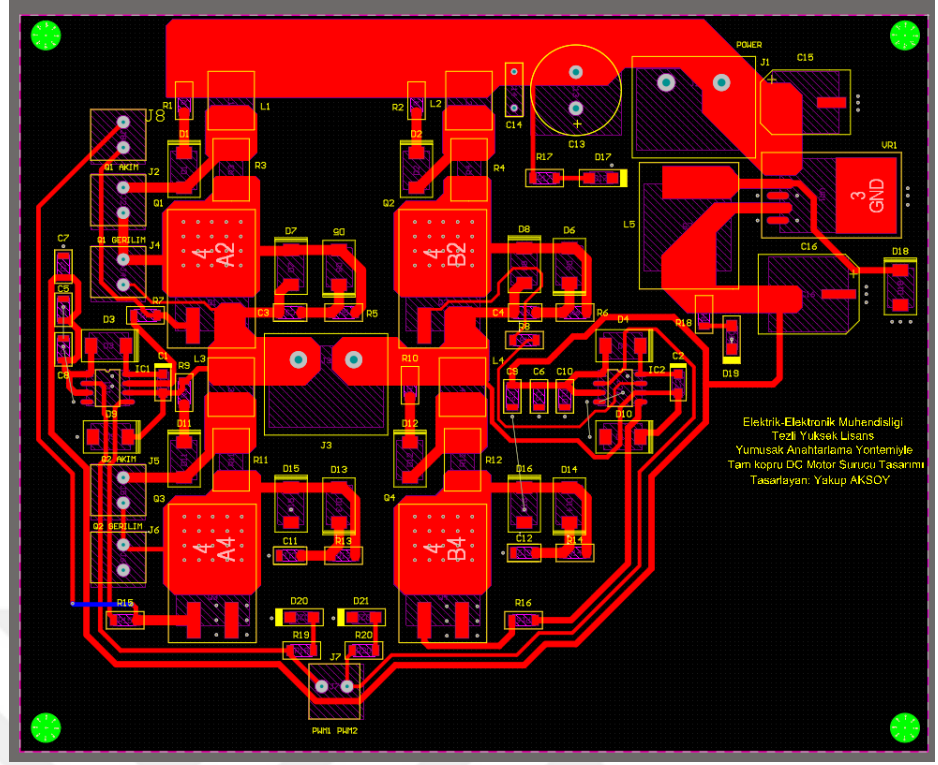
Şekil 3.30. Sürücü entegre besleme devresi 3 boyutlu görüntüsü

3.2.4. Sürücü Devresi

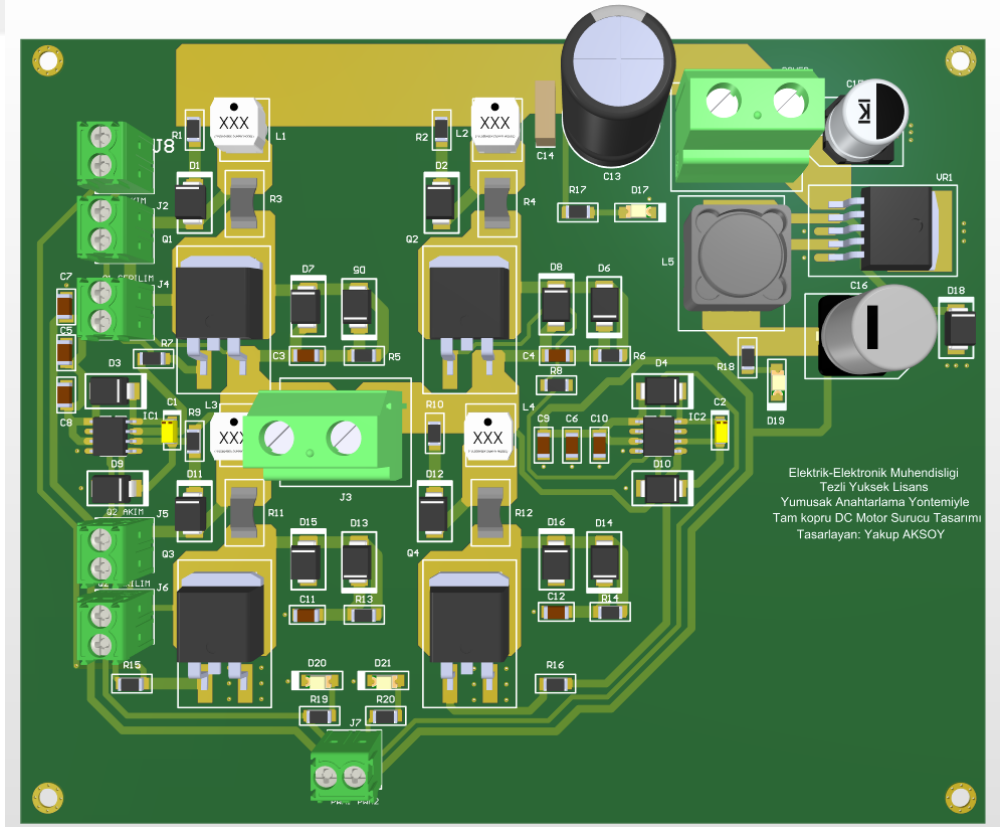
Bu kısımda “Altium Designer” programında tasarlanan sürücünün şematik (Şekil 3.31), PCB (Şekil 3.32) ve 3 boyutlu (Şekil 3.33) şekilleri yer almaktadır.



Şekil 3.31. Sürücü şematik çizimi



Şekil 3.32. Sürücü PCB çizimi

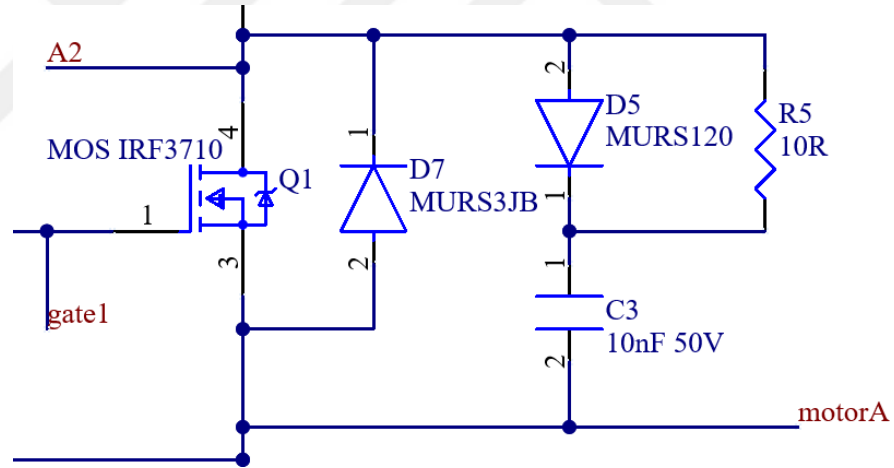


Şekil 3.33. Sürücü 3 boyutlu görüntüsü

MOSFET'e gelen gate sinyali kesildiğinde drain-source uçları açılır. Bu anda MOSFET'in drain-source uçları arasındaki akım düşmeye başlar ve aynı anda gerilim hızlıca yükselişe geçer. Bu durum dv/dt hızının çok yükselerek MOSFET'in dayanabileceği gerilim sınırını aşar ve MOSFET bozulabilir. Bu durum daha yüksek gerilim dayanımına sahip MOSFET modelleri kullanımını gerektirir ya da dv/dt hızını sınırlamak için bastırma devresi tasarlanmalıdır.

Bu olumsuzluklardan kurtulmak için tasarlanan sıfır gerilimde anahtarlama devresi sayesinde di/dt hızı kontrol altına alınmış olunur.

MOSFET'lerin sıfır voltaj anında üzerine düşen gerilimin yükselme hızını yavaşlatmak için drain-source uçları arasına bastırma devresi tasarlanmış, dv/dt hızı kontrol altına alınarak, drain-source uçları arasında istenmeyen gerilim yükselmeleri, gerilim ve akımın üst üste binerek oluşturacağı anahtarlama kayıpları önlenmeye çalışılmıştır (Şekil 3.34).



Şekil 3.34. Sıfır voltaj anında bastırma devresi

Şekilde 3.34'te yer alan D5 diyodu sayesinde gerilim C3 kapasitörünü hızlıca şarj edecektir. Bu sayede mosfetin uçları arasında (drain-source) gerilimin yükselme hızı kontrol altında tutulabilecektir. Çok yüksek değerli kapasitör seçmek MOSFET'in drain-source uçları arasında oluşacak gerilimin yükselme hızını daha da yavaşlatacaktır lakin kapasitör her seferinde şarj ve R5 üzerinden deşarj olacağı için R5 üzerinde gereksiz enerji kaybına neden olacaktır. C5 kapasitörünü ve R5 direncini

seçerken en önemli kriter anahtarlama frekansıdır. Anahtarlama frekansından yola çıkarak şarj-deşarj olma süresi hesaplanmaktadır.

Devremizde frekans 32kHz olarak seçilmiştir. Periyodu(T) hesaplamak istersek;

$$T = \frac{1}{F} \quad (4.1)$$

$$T = \frac{1}{32\text{kHz}}$$

$$T = 31.25\text{us}$$

Çalışma aralığını yani doluluk oranını en düşük %20 ve en yüksek %90 olarak varsayıyoruz. Bu değerlere göre şarj vedeşarj sürelerini önce %20'ye göre hesaplırsak;

$$\text{Şarj Süresi} = 0.2 \times T$$

$$\text{Şarj Süresi} = 0.2 \times 31.25\text{us}$$

$$\text{Şarj Süresi} = 6.25\text{us}$$

$$\text{Deşarj Süresi} = 0.9 \times T$$

$$\text{Deşarj Süresi} = 0.9 \times 31.25\text{us}$$

$$\text{Deşarj Süresi} = 28,125\text{us}$$

Şarj vedeşarj sürelerini %90'a göre hesaplırsak;

$$\text{Şarj Süresi} = 0.9 \times T$$

$$\text{Şarj Süresi} = 0.9 \times 31.25\text{us}$$

$$\text{Şarj Süresi} = 28,125\text{us}$$

$$\text{Deşarj Süresi} = 0.2 \times T$$

$$\text{Deşarj Süresi} = 0.2 \times 31.25\text{us}$$

$$\text{Deşarj Süresi} = 6.25\text{us}$$

Kapasitörü şarj olurken D5 diyotu üzerinden direkt olarak çok kısa bir zamanda şarj olacaktır. Deşarj olma durumunda ise kapasitör R5 direnci üzerindendeşarj olacaktır. Deşarj olma süresi şu şekilde hesaplanır;

$$\tau = 5 \times R \times C \quad (4.2)$$

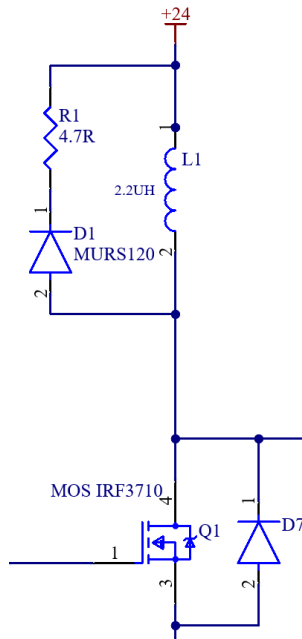
$$\tau = 5 \times 10 \times 22 \times 10^{-9}$$

$$\tau = 1.1 \mu s$$

Formül 4.2’de belirtilen sonuca göre kapasitör 1.1 us gibi kısa bir zamanda deşarj olacaktır ki bu süre en düşük çalışma oranı olan %20’lik kısımda dahi etkili şekilde deşarj olmasına müsaade edileceğini göstermektedir.

MOSFET’e gelen gate sinyali kesildiğinde drain-source uçları kapanır. Bu anda MOSFET’in drain-source uçları arasındaki gerilim düşmeye başlar ve aynı anda akım hızlıca yükselişe geçer. Bu durum di/dt hızının çok yükselerek MOSFET’in dayanabileceği akım sınırını aşar ve MOSFET bozulabilir. Bu durum daha yüksek akım dayanımına sahip MOSFET modelleri kullanımını gerektirir ya da di/dt hızını sınırlamak için bastırma devresi tasarlanmalıdır.

MOSFET’lerin sıfır akım anında üzerinden geçen akımın yükselme hızını yavaşlatmak için drain ucuna seri olacak şekilde bastırma devresi tasarlanmış, di/dt hızı kontrol altına alınarak, drain-source uçları arasından akan akımın ani şekilde yükselmesi, akım ve gerilimin üst üste binerek oluşturacağı anahtarlama kayıpları önlenmeye çalışılmıştır. (Şekil 3.35)



Şekil 3.35. Sıfır akım anında bastırma devresi

Şekilde 3.34’te yer alan Q1 MOSFET’i kapandığında akan akım L1 endüktansı tarafından depo edildikten sonra drain ucuna doğru akacaktır. Bu sayede akımın yükselme hızı endüktans tarafından kontrol altına alınabilir. MOSFET açıldığında ise L1 endüktansında biriken enerji D1 diyotundan ve R1 direncinden geçerek tekrar kendi üzerinde harcanacaktır. Burada L1 ve R1 elemanlarının seçimi önemlidir. R1 direnci L1 endüktansında biriken enerjinin tamamını üzerinde harcamak zorundadır aksi takdirde MOSFET tekrar kapandığında L1 endüktansında biriken enerji artarak akımın di/dt hızını yavaşlatamaz ve işlevsiz hale gelir.

L ve R elemanlarının seçimi şu şekilde olduğunda;

$$\tau = \frac{L}{R} \quad (4.3)$$

$$\tau = \frac{2.2\mu H}{4.7}$$

$$\tau = 0.46\mu s$$

$$5\tau = 5 \times 0.46\mu s$$

$$5\tau = 2.34\mu s$$

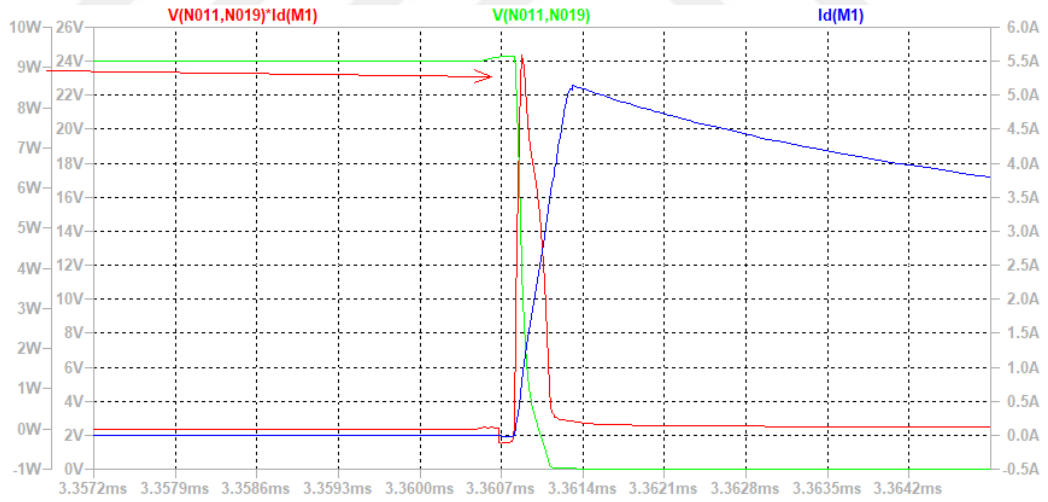
Seçilen bobin ve direnç değerlerinin uygunluğu formül 4.3’e göre hesaplanmıştır.



Şekil 4.2. LTspice simülasyon sonucu (kırmızı: gerilim, mavi: akım)

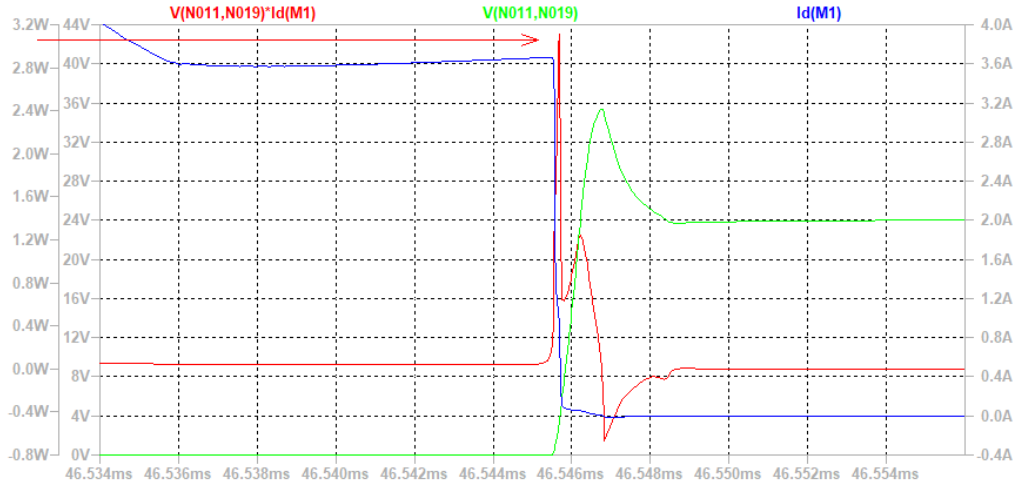
Şekilde 4.2’de incelendiğinde akım ve gerilim eğrisi görünmektedir. MOSFET’in kapanma anında üzerindeki gerilim düşüşe geçmiş ve akım eğrisinin yükselişi yumuşak şekilde gerçekleşmektedir. Bu durum tasarlanan bastırma devresi sayesinde akımın yükseliş hızını sınırlamıştır.

Grafiğin devamında ise MOSFET açılmış, üzerindeki akım düşüşe geçmiştir. Akım 0A civarına kadar düştüğünde gerilim eğrisinin yükselişi yumuşak şekilde yükselişe geçmiştir. Bu durum tasarlanan bastırma devresi sayesinde gerilimin yükseliş hızını sınırlamıştır.



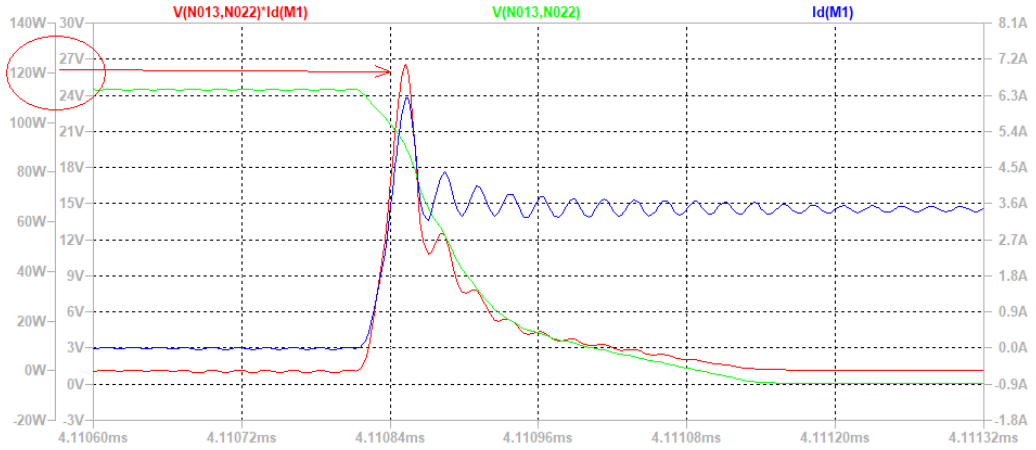
Şekil 4.3. Turn-off ölçümü – akım, gerilim ve güç değerlerinin gösterimi (kırmızı: kayıp güç, mavi: akım, yeşil: gerilim)

Şekil 4.3’te MOSFET’in kapanma anındaki anahtarlama kaybı gösterilmiştir. Güç kaybının tepe değeri grafikte görüleceği üzere 9W civarında gerçekleşmiştir. Gerilim sinyali düşüşe geçmiş akım ise hemen yükselmeyerek belirli bir süre sonra yükselişe geçmiştir. Akım ve gerilimin üst üste binmesi belirli bir çerçevede sınırlandırılmıştır. Bu noktadaki değerler şekilde yer almaktadır.



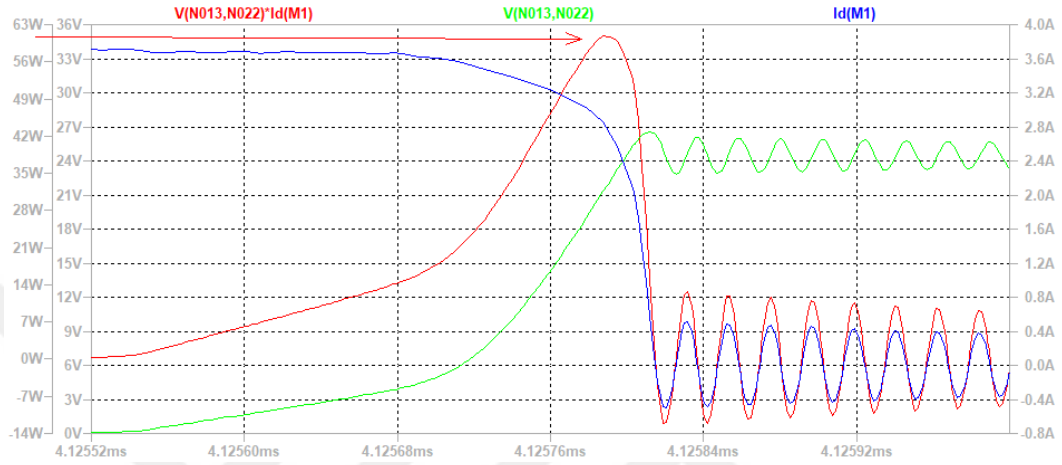
Şekil 4.4. Turn-on ölçümü – akım, gerilim ve güç değerlerinin gösterimi (kırmızı: kayıp güç, mavi: akım, yeşil: gerilim)

Şekil 4.4'te MOSFET'in açılma anındaki anahtarlama kaybı gösterilmiştir. Güç kaybının tepe değeri grafikte görüleceği üzere 3W civarında gerçekleşmiştir. Akım sinyali düşüşe geçmiş gerilim ise hemen yükselmeyerek belirli bir süre sonra yükselişe geçmiştir. Gerilim ve akımın üst üste binmesi belirli bir çerçevede sınırlandırılmıştır. Bu noktadaki değerler şekilde yer almaktadır.



Şekil 4.5. Turn-off Anahtarlama kayıpları (bastırma devresi yok) (kırmızı: kayıp güç, mavi: akım, yeşil: gerilim)

Şekil 4.5'te MOSFET'in kapanma anındaki (bastırma devresi yok) anahtarlama kaybı gösterilmiştir. Güç kaybının tepe değeri grafikte görüleceği üzere 120W civarında gerçekleşmiştir. di/dt yükselme hızı çok yüksektir. Akım ve gerilim üst üste binerek yüksek düzeyde anahtarlama kaybı oluşturmaktadır. Bu durumun temel sebebi sıfır akımda bastırma devresinin olmayışından kaynaklanmaktadır.

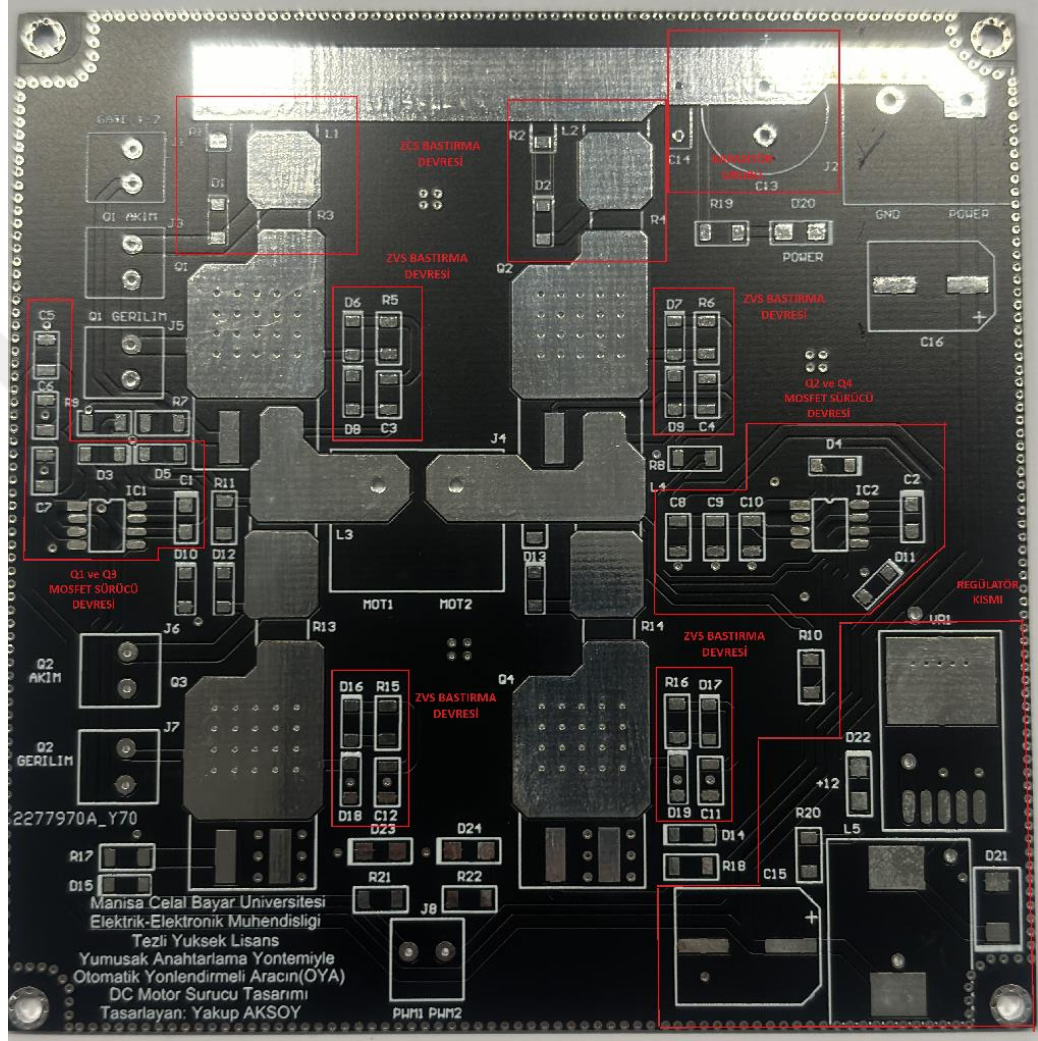


Şekil 4.6. Turn-on anahtarlama kayıpları (bastırma devresi yok) (kırmızı: kayıp güç, mavi: akım, yeşil: gerilim)

Şekil 4.6'daki MOSFET'in açılma anındaki (bastırma devresi yok) anahtarlama kaybı gösterilmiştir. Güç kaybının tepe değeri grafikte görüleceği üzere 63W civarında gerçekleşmiştir. Akım sinyalinde çok düzensiz bir rejim göze çarpmaktadır. Bu durum PCB kısmındaki akım yollarının doğal endüktansından dolayı oluşmaktadır. Yüksek akım ihtiyacı olan devrelerde bu durum daha büyük parazit sinyallerine neden olmaktadır. Bu durumu engellemenin yolu ise sıfır gerilimde bastırma devresi tasarlamaktır.

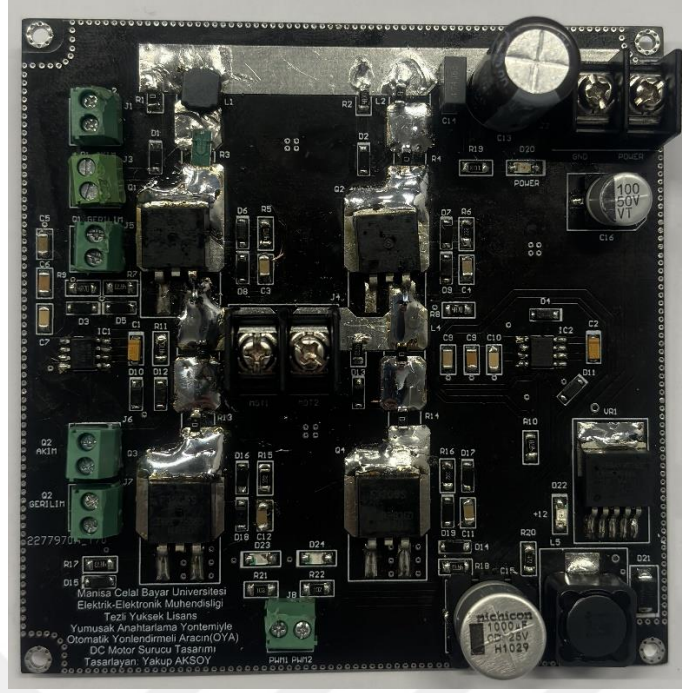
4.2. Sürücü Kartın Montajı

Şekil 4.7’de sürücü kartının PCB kart üzerinde bölümlere ayrılmış hali görülmektedir. Gerekli lehimleme işlemleri yapılarak devrenin çalıştırılmasına geçilecektir.

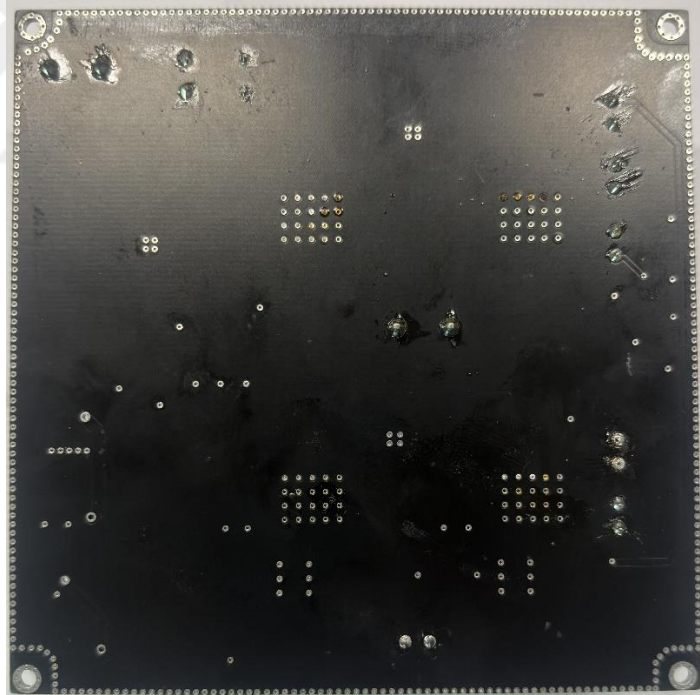


Şekil 4.7. Sürücü PCB kartı

Şekil 4.8’de PCB kartına gerekli elemanlar yerleştirilerek lehimleme işlemi yapılmıştır. Şekil 4.9’da kartın alt görünümü yer almaktadır.

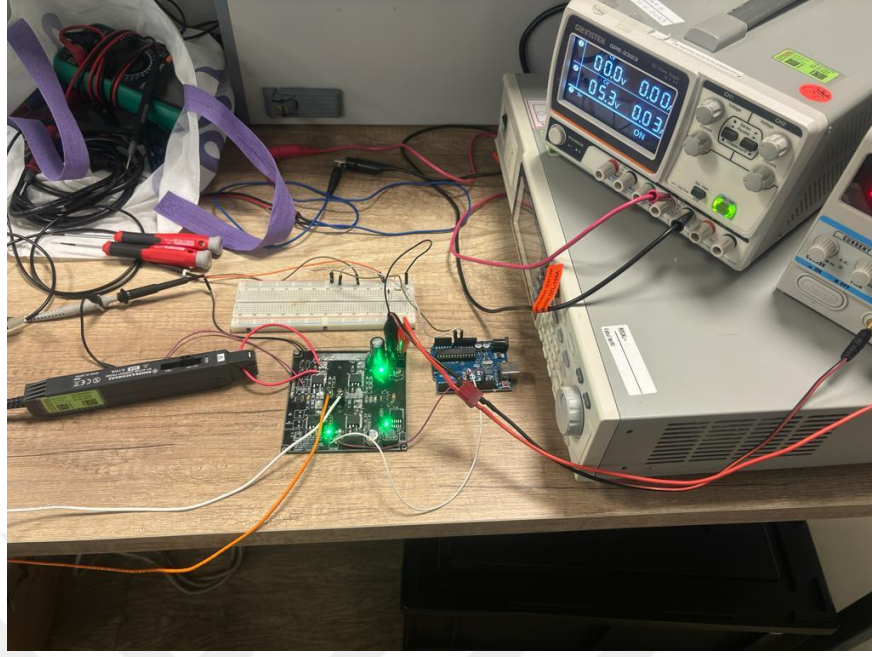


Şekil 4.8. Sürücü PCB kartın montajlanmış üst görünümü



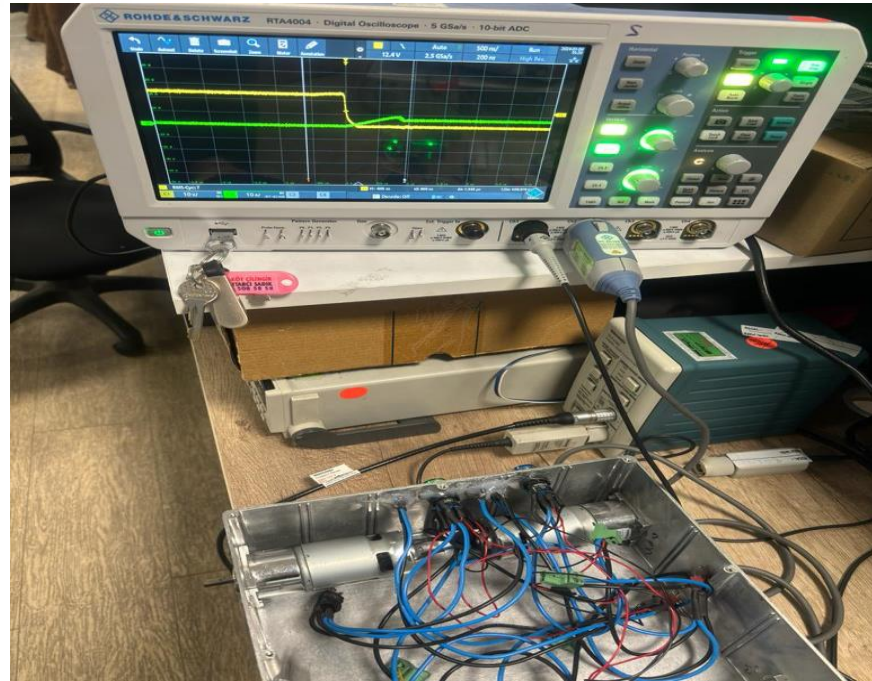
Şekil 4.9. Sürücü PCB kartın montajlanmış alt görünümü

4.3. Ölçüm Sonuçları



Şekil 4.10. Deney görüntüsü-1

Şekil 4.10’da tasarlanan sürücü kartı ve sürücü kartına PWM sinyallerini gönderen MCU kartının beslemesi yer almaktadır.



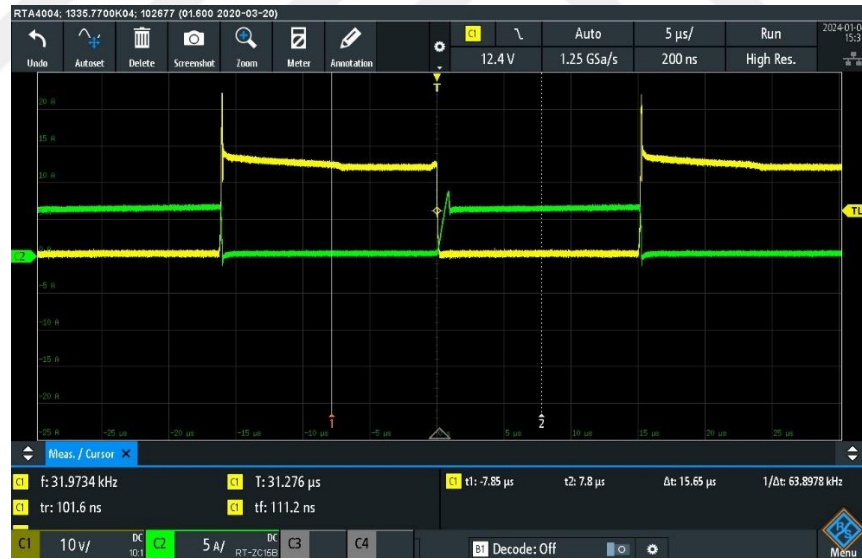
Şekil 4.11. Deney görüntüsü-2

Şekil 4.11’de ölçümün yapıldığı osiloskop ve DC motorlar yer almaktadır.



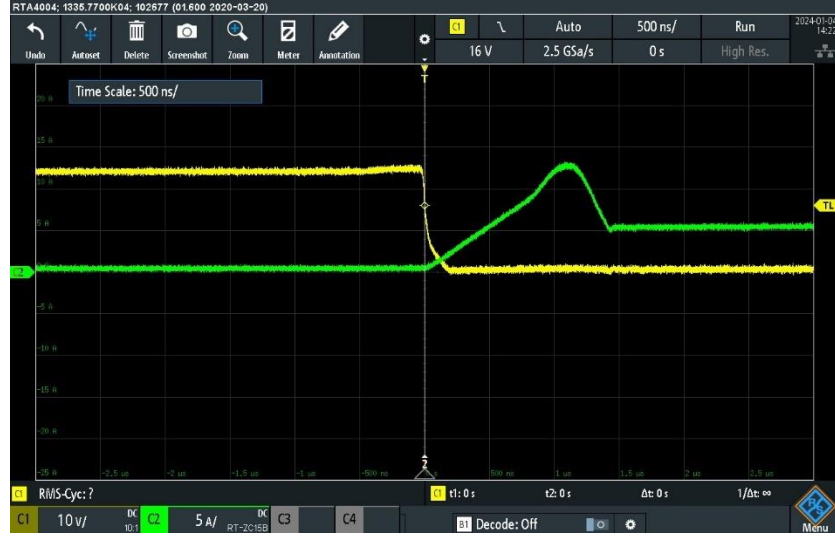
Şekil 4.12. Deney görüntüsü-3

Şekil 4.12’de osiloskop, DC motorlar, güç kaynakları, sürücü kartı ve akım probu deneyin gerçekleştirilmesinde kullanılmıştır.



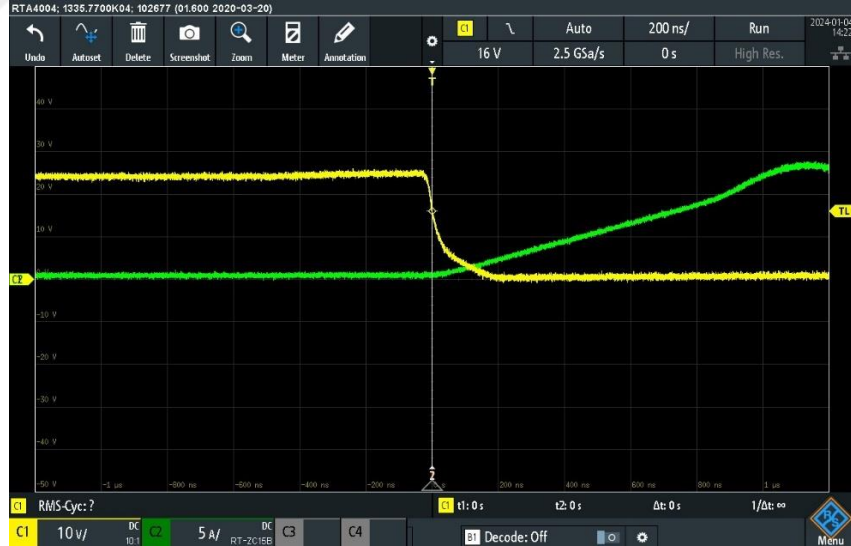
Şekil 4.13. MOSFET üzerindeki akım ve gerilim değerlerinin gösterimi (sarı: gerilim, yeşil: akım)

Şekil 4.13’te MOSFET’in drain source uçları üzerinden akan akım ve gerilim şekilleri görünmektedir. Anahtarlama frekansı 32 kHz ve gerilim 24V olarak ayarlanmıştır.



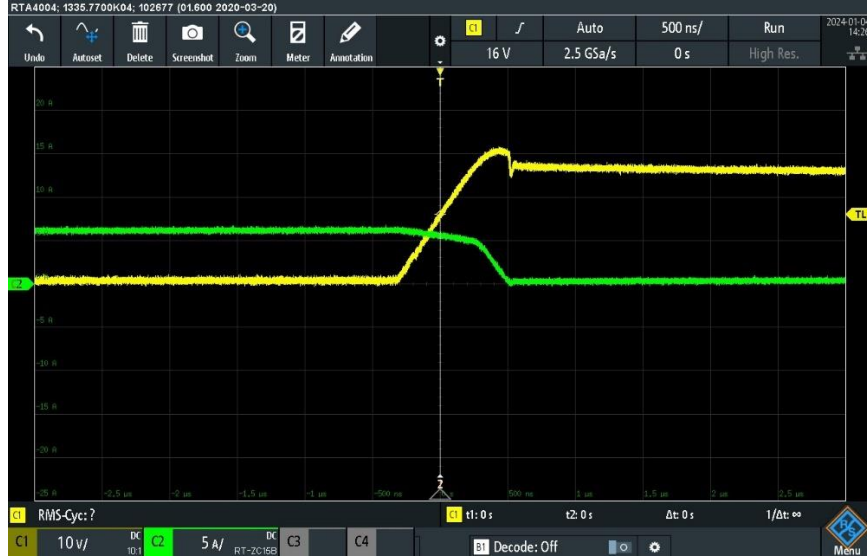
Şekil 4.14. Turn-off ölçümü – akım ve gerilim değerlerinin gösterimi (sarı: gerilim, yeşil: akım)

Şekil 4.14'te MOSFET'in drain source uçları arasındaki akımın yükseliş hızının eğimli olarak yükseldiği görülmüştür. Tepe akımının 12A civarına kadar yükselişe geçtiği daha sonra 6A'da sabitlendiği görülmüştür. Gerilim ve akım sinyallerinin üst üste binmesi minimize edilerek sıfır akımda anahtarlanmanın başarılı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.15. Turn-off ölçümü – akım ve gerilim değerlerinin gösterimi (sarı: gerilim, yeşil: akım)

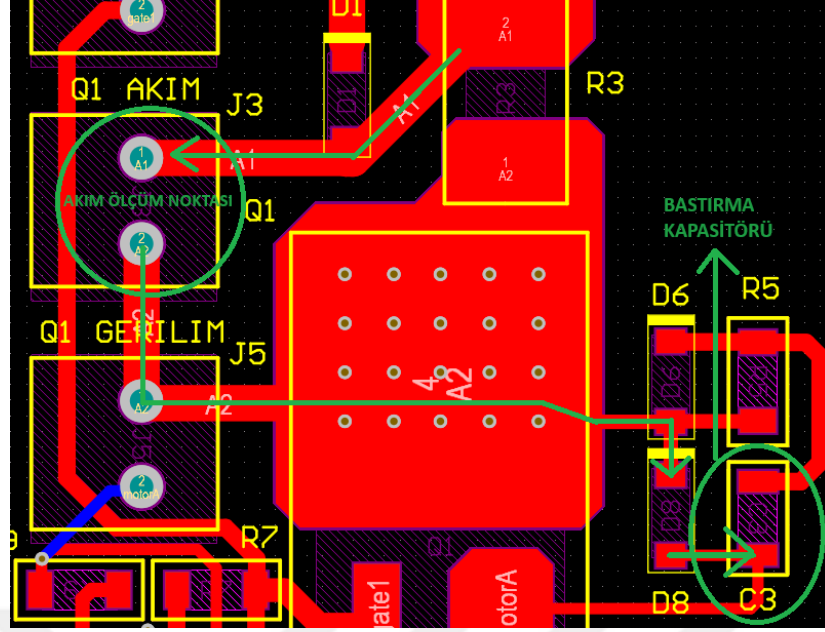
Şekil 4.15'te MOSFET'in drain source uçları arasındaki gerilim değerinin 24 volt dan düşüşü görülmüştür. Sonuçlar Şekil 4.14'teki ile aynıdır.



Şekil 4.16. Turn-on ölçümü – akım ve gerilim değerlerinin gösterimi (sarı: gerilim, yeşil: akım)

Şekil 4.16’da MOSFET’in drain source uçları arasındaki gerilimin yükselme hızı eğimli şekilde olmasına rağmen akımın düşüşü gecikmektedir. Bu duruma sebep olan durum ise bastırma kapasitörünün ani şekilde şarj olmasından kaynaklanmaktadır. Tasarlanan bastırma devresinin gerilimin hızını düşürdüğü görülmektedir ve kapasitör tam şarj olduğu anda ise akım 0 amper civarına düşmektedir.

Şekil 4.17’de yer alan görüntüde akım ölçüm probunun konumlandırılması gereken yerin çok doğru olmadığı görülüyor. Akım yolu takip edilirse ölçüm gerçekleştirilen nokta kapasitöre akan akımın üzerine konumlandırılmıştır. Bu durumdan ötürü akımın düşüşü geç görünmektedir.

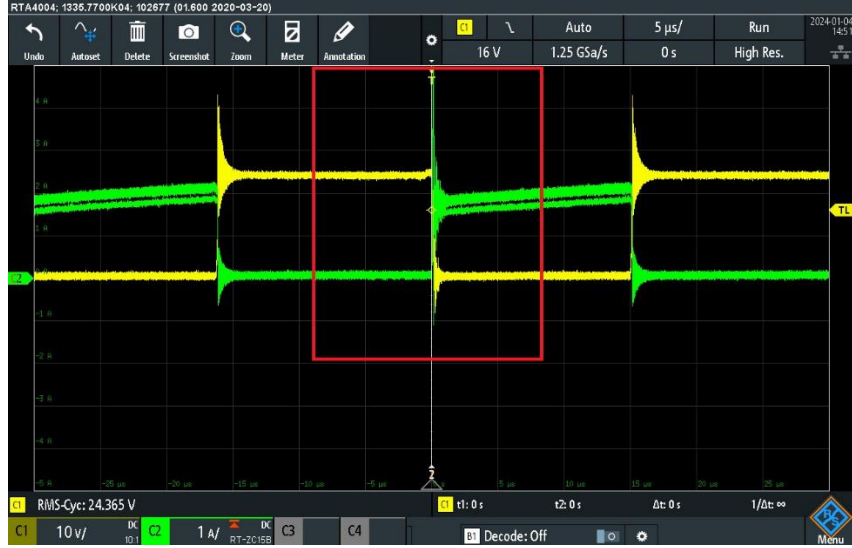


Şekil 4.17. Bastırma kapasitörüne akan akım



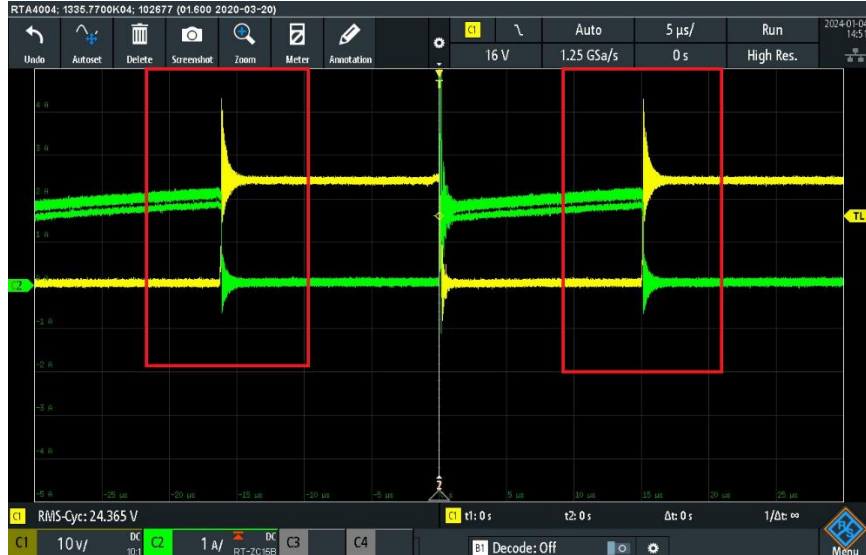
Şekil 4.18. Termal kamera görüntüsü

Şekil 4.18’de yer alan görüntüde sürücü kartında yer alan elemanların ısı dağılımları görünmektedir. MOSFET’lerin ısı dağılımları çok normal görünmektedir. Sıfır gerilimde anahtarlama devresi için tasarlanan direncin ısındığı görülmektedir. Bu sıcaklık 54,2 °C’dir. Bu değerlerde herhangi bir problem oluşturmamıştır.



Şekil 4.19. Turn-off ölçümü – akım ve gerilim değerlerinin gösterimi (bastırma devresi yok-sarı: gerilim, yeşil: akım)

Şekil 4.19’da yer alan görüntüde ZCS devresinin olmadığı duruma ait MOSFET’in drain source uçları arasındaki akım ve gerilimin dalga şekilleri görülmektedir. Akım ve gerilim değerlerinin yüksek düzeyde harmonikler oluşturdukları gözlenmektedir. Oluşan bu sinyal görüntüleri MOSFET üzerinde stres oluşturarak MOSFET’in bozulmasına sebebiyet verebilmektedir. Bunun temel sebebi ise ZCS devresinin olmamasıdır.



Şekil 4.20. Turn-on ölçümü – akım ve gerilim değerlerinin gösterimi (bastırma devresi yok-sarı: gerilim, yeşil: akım)

Şekil 4.20’de yer alan görüntüde ZVS devresinin olmadığı duruma ait MOSFET’in drain source uçları arasındaki akım ve gerilimin dalga şekilleri

görülmektedir. Gerilim değerin MOSFET'in drain source uçları arasında yüksek değeri harmonik sinyali oluşturduğu gözlenmektedir. Akım sinyali de gerilim sinyaline benzer bir form çizmektedir. Bu sinyallere bakılarak anahtarlama kayıplarının yüksek düzeyde olduğu görülmektedir. Bunun temel sebebi ise ZVS devresinin olmamasıdır.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma sonucunda tasarlanan SS tam köprü DC motor sürücüsü OYA üzerinde denenerek başarı ile uygulanmıştır. Sürücü kartı robotun otonom şekilde hareket etmesini sağlayan DC motorları ileri ve geri yönde farklı hızlarda çalıştırabilmiştir. HS tekniği ile yapılan motor sürücü kartlarının zaman içerisinde arızalandığı, anahtarlama kayıpları sebebiyle düşük kapasitede kullanılması, zorlanma durumunda MOSFET'lerin sıcaklıklarının arttığı, MOSFET'lere ekstra soğutucu takılması gerektiği gibi bazı olumsuz durumlardan kurtulmak için SS tekniklerinden sıfır akım ve gerilimde anahtarlama teknikleri tercih edilmiştir.

Bu tekniğin uygulaması kolay ve maliyeti düşüktür. Bu tekniğin olumsuz yönleri ise bastırma devrelerindeki enerjinin dirençler üzerinde harcanması ve yüksek akım ve gerilim değerleri için standart olmayan endüktans ve kapasitans seçeneklerinin azalmasıdır.

Tasarlanan sürücü kartının simülasyonu LTspice programıyla detaylı olarak yapılmıştır. Şekil 3.34'te yer alan bastırma devresi sayesinde sıfır akımda anahtarlama sağlanmıştır. Şekil 4.3'te MOSFET'in drain source uçları arasındaki akımın yükselme hızının (di/dt) ani şekilde olmadığı eğimli şekilde olduğu gözlenmiştir.

Yapılan ölçümlerde bu tasarımın doğruluğu şekil 4.14'te yer alan osiloskop görüntüsü ile doğrulanmıştır. Deney esnasında MOSFET'lerin ısınmadığı şekil 4.16'daki şekilde görünmektedir.

Şekil 3.33'te yer alan bastırma devresi sayesinde sıfır gerilimde anahtarlama sağlanmıştır. Şekil 4.4'te MOSFET'in drain source uçları arasındaki gerilimin yükselme hızının (dv/dt) ani şekilde olmadığı eğimli şekilde olduğu gözlenmiştir.

Yapılan ölçümlerde bu tasarımın doğruluğu şekil 4.16'da yer alan osiloskop görüntüsü ile doğrulanmıştır.

Akımın geç düşme sebebi ise şekil 4.16'da yer alan görüntüde, bastırma kapasitörünün doğrudan çektiği şarj akımıdır. Bu akımı sınırlamak için küçük değerli seri bir direnç bağlanması tavsiye edilir. Bağlanacak olan seri direnç gerilimin

yükselme hızına olumsuz etki edecek şekilde olmamalıdır. Ayrıca akım ölçümü yapılacak noktanın bu hat üzerine konumlandırılmamasına dikkat edilmelidir.

Tasarlanan sürücü kartı 32 kHz'lik anahtarlama frekansında SS tekniğiyle DC motorları başarılı şekilde kontrol etmiştir. DC motorların nominal akımı 1 amper iken zorlanma akımları 6 amperdir. Zorlanma akımlarında test edilen sürücü kartı sorunsuz şekilde çalışmıştır. Şekil 4.16'da kartın ısı dağılımı görünmektedir. Bastırma direnci dışında ısınan herhangi bir eleman görülmemiştir.

Bastırma devrelerinin olmadığı durumlarda yani HS yapıldığında ise sürücü kartı üzerinde yapılan ölçümler neticesinde oluşan olumsuzluklar şekil 4.18 ve şekil 4.19'da görünmektedir. Bu aşamada sürücü kartı üzerindeki MOSFET'ler ısınmış ve sürücü entegre bazı durumlarda kendini korumaya alarak devrenin çalışmasında kararsız rejimler oluşturmuştur. Yüksek frekanslarda HS yöntemiyle MOSFET'leri sürmek kaçınılmaz olarak bozulmalara sebebiyet verecektir.

Elde edilen deneyimler doğrultusunda anahtarlama elamanı olarak kullanılacak olan MOSFET'lerin iç direnç değerleri ve giriş kapasitansının olabildiğince düşük seçilmesi, sürücü entegrenin verebileceği akım değerlerinin yüksek olması gerekmektedir. PCB tasarım kısmında ise MOSFET'lerin birbirine olabildiğince yakın konumlandırılması, sürücü entegrelerin MOSFET'lere yakın konumlandırılması, gate sinyal hatlarının güç hatlarından uzak olacak şekilde çizilmesi, güç hatlarının en kısa şekilde ve olabildiğince geniş tutularak çizilmesi, MCU vasıtasıyla gönderilecek olan gate sinyallerinin sürücü entegreye giriş yapmadan filtre edilerek verilmesi, besleme hattı ile sürücü hatlarının birbirinden izole edilmesi gibi durumların dikkatle uygulanması ileride yapılacak olan çalışmalara katkı sağlayacaktır.

6. KAYNAKLAR

- [1]. Tuna, Yüksel, et al. Otomatik Yönlendirmeli Araç Sistemlerinde Akış Yol Tasarımı. Teknoloji. 2004, 7.1,95-103.
- [2]. Jiang, C., Chau, K. T., Liu, C., Lee, C. H., Han, W., & Liu, W. Move-and-charge system for automatic guided vehicles. IEEE Transactions on Magnetics, 2018, 54(11), 1-5.
- [3]. Berman, S., Schechtman, E., & Edan, Y. Evaluation of automatic guided vehicle systems. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2009, 25(3), 522-528.
- [4]. Antony, Merin, Parameswaran, Megha, Mathew, Nithin, Sajithkumar, V.S., Sajithkumar, Joseph, Jineeth, & Jacob, Christy Mary, Design and implementation of automatic guided vehicle for hospital application, 5th International Conference on Communication and Electronics Systems, 2020. (IEEE, pp. 1031-1036).
- [5]. Yiğit, F., & Güner, E. Otomatik Yönlendirmeli Araç (OYA) Sistemleri ve Depo Bakımında Rotalama Problemi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2011, 9(2), 269-277.
- [6]. Ekinci, Serdar., Baran, Hekimoğlu., and Serhat, Kaya. Tuning of PID controller for AVR system using salp swarm algorithm. 2018 international conference on artificial intelligence and data processing, 2018 (IEEE, pp. 1-6.)
- [7]. Bodur, H., & Bakan, A. F. A new zvt-pwm dc-dc converter. IEEE transactions on power electronics. 2002, 17(1), 40-47.
- [8]. Elasser, A., & Torrey, D. A., Soft switching active snubbers for dc/dc converters, IEEE Transactions on Power Electronics, 1996, 11(5), 710-722.
- [9]. H. Bodur and S. Yıldırım, "A New ZVT Snubber Cell for PWM-PFC Boost Converter," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, Jan. 2017, vol. 64, no. 1, pp. 300-309.
- [10]. Ahmed, M. Rishad., Todd, R., Forsyth, A. J. Analysis of SiC MOSFETs under hard and soft-switching. In: 2015 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition. 2015, (IEEE, p. 2231-2238.)
- [11]. AKSOY, Ismail; BODUR, Hacı; BAKAN, A. Faruk. A new ZVT-ZCT-PWM dc-dc converter. IEEE transactions on power electronics, 2010, 25.8: 2093-2105.
- [12]. Moshayedi, A. J., Jinsong, L., & Liao, L. AGV (automated guided vehicle) robot: Mission and obstacles in design and performance. Journal of Simulation and Analysis of Novel Technologies in Mechanical Engineering, 2019, 12(4), 5-18.
- [13]. Liam, Lynch., Thomas, Newe., John, Clifford., Joseph, Coleman., Joseph, Walsh., Daniel, Toal, "Automated Ground Vehicle (AGV) and Sensor Technologies-

A Review," 12th International Conference on Sensing Technology (ICST), 04-06 december, 2018, Ireland, (pp. 347-352,)

[14]. H. Bodur and A. F. Bakan, "A new ZVT-ZCT-PWM DC-DC converter," in IEEE Transactions on Power Electronics, May 2004, vol. 19, no. 3, pp. 676-684.

[15]. Bodur, .H., Bakan, .A. & Baysal, .M. A detailed analytical analysis of a passive resonant snubber cell perfectly constructed for a pulse width modulated d.c.–d.c. buck converter. Electr Eng, 2003, 85, 45–52.

[16]. B. Akın and H. Bodur, "A New Single-Phase Soft-Switching Power Factor Correction Converter," in IEEE Transactions on Power Electronics, Feb. 2011, vol. 26, no. 2, pp. 436-443.

[17]. Datasheet, Arduino MEGA 2560, Atmel, Kasım 2016, Yeniden Düzenleme Kasım 2023, 17s.

[18]. Lee, K. M., Lee, S. W., Choi, Y. G., & Kang, B. Active balancing of Li-ion battery cells using transformer as energy carrier. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2015, (64(2), 1251-1257.)

[19]. Datasheet, NX1060P101-10.1 inç, Nextion, Ocak 2020, 7s.

[20]. Baykal, Abdullah; Yücelen, M. Aziz. Raspberry Pi Kurulumu ve Kullanımı. Akademik Bilişim Konferansı Adnan Menderes Üniversitesi, 2016.

[21]. ZIEBINSKI, Adam, et al. Challenges associated with sensors and data fusion for AGV-driven smart manufacturing. In: International Conference on computational Science. Cham: Springer International Publishing, 2021.(p. 595-608.)

[22]. Datasheet, QTR-8A, Pololu, 2001-2014, 12s.

[23]. Datasheet, IR2104(S) motor driver, Infineon, 2001, 17s.

[24]. Datasheet, Bootstrap Capacitor, Texas Instruments, Ağustos 2018, Yeniden Düzenleme Eylül 2023, 19s.

[25]. Datasheet, AN-6076 Design and Application Guide of Bootstrap Circuit for High-Voltage Gate-Drive IC, Fairchild Semiconductor Corporation, 2008, Yeniden Düzenleme Aralık 2018, 16s.

[26]. Bodur, H. Güç Elektroniği Temel Analiz ve Sayısal Uygulamalar, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2017, 410s.

[27]. Datasheet, LTspice IV Getting Started Guide, Linear Technology, 2000, Yeniden Düzenleme 2011, 53s.

EK-1 Sabit Voltaj Regülatör Entegresi Katalog Bilgileri (LM2576)



LM2576, LM2576HV

SNVS107G – JUNE 1999 – REVISED MARCH 2023

LM2576xx Series SIMPLE SWITCHER® Power Converter 3-A Step-Down Voltage Regulator

1 Features

- Newer products available:
 - LMR51430 4.5 to 36-V, 3-A, 500-kHz and 1.1-MHz synchronous converter
 - LM76003 3.5 to 60-V, 3.5-A, 300-kHz to 2.2-MHz synchronous converter
- For faster time to market:
 - TLVM13630 3 to 36-V, 3-A, 200-kHz to 2.2-MHz power module
- 3.3-V, 5-V, 12-V, 15-V, and adjustable output versions
- Adjustable version output voltage range, 1.23 V to 37 V (57 V for HV version) $\pm 4\%$ maximum over line and load conditions
- Specified 3-A output current
- Wide input voltage range: 40 V Up to 60 V for HV version
- Requires only four external components
- 52-kHz fixed-frequency internal oscillator
- TTL-shutdown capability, low-power standby mode
- High efficiency
- Uses readily available standard inductors
- Create a custom design using the LMR33630 or LM76003 with the WEBENCH® Power Designer

Requiring a minimum number of external components, these regulators are simple to use and include fault protection and a fixed-frequency oscillator.

The LM2576 series offers a high-efficiency replacement for popular three-terminal linear regulators. It substantially reduces the size of the heat sink, and in some cases no heat sink is required.

A standard series of inductors optimized for use with the LM2576 are available from several different manufacturers. This feature greatly simplifies the design of switch-mode power supplies.

Other features include a $\pm 4\%$ tolerance on output voltage within specified input voltages and output load conditions, and $\pm 10\%$ on the oscillator frequency. External shutdown is included, featuring 50- μ A (typical) standby current. The output switch includes cycle-by-cycle current limiting, as well as thermal shutdown for full protection under fault conditions.

The LM76003 requires very few external components and has a pinout designed for simple, optimum PCB layout for EMI and thermal performance. See the [device comparison table](#) to compare specs.

2 Applications

- Motor drives
- Merchant network and server PSU
- Appliances
- Test and measurement equipment

3 Description

The LM2576 series of regulators are monolithic integrated circuits that provide all the active functions for a step-down (buck) switching regulator, capable of driving 3-A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3 V, 5 V, 12 V, 15 V, and an adjustable output version.

Package Information

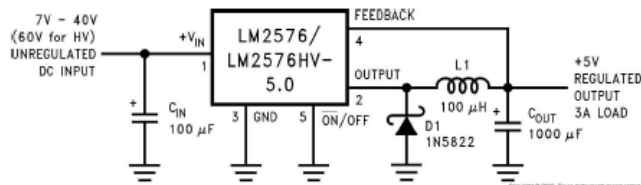
PART NUMBER	PACKAGE ⁽¹⁾	BODY SIZE (NOM)
LM2576	KC (TO-220, 5)	10.16 mm $\times$ 8.51 mm
LM2576HV	KTT (DDPAK/TO-263, 5)	10.16 mm $\times$ 8.42 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

Device Information

PART NUMBER	Max Supply Voltage ⁽¹⁾
LM2576	40 V
LM2576HV	60 V

(1) See the [Device Comparison Table](#).



Fixed Output Voltage Version Typical Application Diagram

(Ek-1 devam)

6 Specifications

6.1 Absolute Maximum Ratings

over the recommended operating junction temperature range of -40°C to 125°C (unless otherwise noted)^{(1) (2)}

		MIN	MAX	UNIT
Maximum supply voltage	LM2576		45	V
	LM2576HV		63	
ON /OFF pin input voltage		$-0.3V \leq V \leq +V_{IN}$		V
Output voltage to ground	(Steady-state)	-1		V
Power dissipation		Internally Limited		
Maximum junction temperature, T_J			150	°C
Storage temperature, T_{stg}		-65	150	°C

- (1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, which do not imply functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions*. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
- (2) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the TI Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

6.7 Electrical Characteristics: 12 V

Specifications are for $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted).

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNIT
SYSTEM PARAMETERS TEST CIRCUIT Figure 8-3 and Figure 8-9 ⁽¹⁾							
V _{OUT}	Output Voltage	V _{IN} = 25 V, I _{LOAD} = 0.5 A Circuit of Figure 8-3 and Figure 8-9		11.76	12	12.24	V
V _{OUT}	Output Voltage LM2576	0.5 A ≤ I _{LOAD} ≤ 3 A, 15 V ≤ V _{IN} ≤ 40 V Circuit of Figure 8-3 and Figure 8-9 and	T _J = 25°C	11.52	12	12.48	V
			Applies over full operating temperature range	11.4		12.6	
V _{OUT}	Output Voltage LM2576HV	0.5 A ≤ I _{LOAD} ≤ 3 A, 15 V ≤ V _{IN} ≤ 60 V Circuit of Figure 8-3 and Figure 8-9	T _J = 25°C	11.52	12	12.54	V
			Applies over full operating temperature range	11.4		12.66	

ÖZGEÇMİŞ

YAKUP AKSOY

İŞ DENEYİMİ

Türkiye
ELEKTRİK ÖĞRETMENİ MANİSA ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ

2012 yılından beri, Manisa Organize Sanayi Bölgesi Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'nde Elektrik-Elektronik Teknolojileri bölümünde Elektrik Öğretmenliği yapmaktayım. Çoklu platformları destekleyen programlama dilleri, görüntü işleme, yapay zekâ algoritmaları, MCU, PLC, güç ve kumanda elemanlarının kullanımları ve robot kol uygulamaları üzerine dersler vermekteyim. Ayrıca ulusal ve uluslararası yarışmalarda robot takımlarına danışmanlık yapmaktayım.

EĞİTİM VE STAJ

01/09/2008 – 01/07/2012 Elazığ, Türkiye
ELEKTRİK ÖĞRETMENLİĞİ, LİSANS FIRAT ÜNİVERSİTESİ

İnternet sitesi <https://www.firat.edu.tr/tr>

01/09/2016 – 01/07/2020 Balıkesir, Türkiye
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ, LİSANS BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ

İnternet sitesi <https://www.balikesir.edu.tr/>

01/09/2020 – MEVCUT DURUM Manisa, Türkiye
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ABD, YÜKSEK LİSANS MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ

İnternet sitesi <https://www.mcbyu.edu.tr/>

DİL BECERİLERİ

Anadili(ler): **TÜRKÇE**

Diğer dil(ler):

	ANLAMA		KONUŞMA		YAZMA
	Dinleme	Okuma	Konuşma Üretimi	Konuşmalı Etkileşim	
İNGİLİZCE	A2	A2	A2	A2	A2

Seviyeler: A1 ve A2: Temel kullanıcı; B1 ve B2: Bağımsız kullanıcı; C1 ve C2: Usta kullanıcı

DİJİTAL BECERİLER

Altium Designer (Good) | Proteus(Good) | C,C++,Python,Arduino | TIA-PORTAL | Mitsubishi MELFA-BASIC IV/V | STM32 CubeMX | Matlab/Simulink | EAGLE Autodesk PCB design software | Circuit Design: LTSpice, Proteus | Circuit simulation with PSpice, LTSpice and PSIM - Good user | C Programming ARM (Keil uVision - IAR)