



**T.C.
İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ
FAKÜLTESİ**

MEZUNİYET PROJESİ

**ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN YERLEŞİK ŞARJ
BİRİMİ**

ALPEREN HAYDAR IŞIK – 21120101011

EMRE EKİZ – 21120101037

EREN TARIK KINACI - 21120101014

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

**DANIŞMAN
Öğr. Gör. Mesut GEREN**

Mayıs, 2025

İSTANBUL

ÖNSÖZ

Günümüzde fosil yakıtların çevresel etkileri ve enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği üzerine artan endişeler, elektrikli araçların önemini her geçen gün artırmaktadır. Elektrikli araçların yaygınlaşmasında, batarya teknolojilerinin gelişmesi kadar, şarj altyapısının da güvenilir, verimli ve kullanıcı dostu olması büyük bir rol oynamaktadır. Bu doğrultuda, mezuniyet projemiz kapsamında, elektrikli araçlar için yerleşik bir şarj sistemi tasarlayıp geliştirmeyi hedefledik.

Bu proje sürecinde hem teorik bilgimizi uygulama fırsatı bulduk hem de güç elektroniği, gömülü sistemler ve donanım yazılım entegrasyonu konularında kendimizi geliştirme imkânı elde ettik. Aynı zamanda gerçek hayatta karşılaşılabilecek mühendislik problemlerine çözüm üretme süreci, mesleki becerilerimizi pekiştirmede önemli bir adım oldu.

Projemizin her aşamasında desteklerini esirgemeyen değerli danışman hocamız Öğr. Üyesi Mesut GEREN'e, laboratuvar imkanlarını sağlayan BİLTAM'a, İMÜ Bilim ve Mühendislik Topluluğuna ve topluluk danışmanı Dr. Öğr. Üyesi Filiz GÜRKAN GÖLCÜK'e teşekkür ederiz.

Bu çalışmanın, yerli ve yenilikçi çözümlerle elektrikli araç teknolojilerinin gelişimine katkı sağlamasını temenni ederiz.

28 Mayıs 2025

Alperen Haydar Işık
Emre Ekiz
Eren Tarık Kınacı

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ.....	vii
DENKLEM LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	2
2.1 LİTERATÜR TARAMASI.....	3
2.1.1. Temel Kavramlar ve Tanımlar	3
2.1.2. Çalışmanın Konumu ve Özgünlüğü	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	4
3.1. SİSTEM GEREKSİNİMLERİ	4
3.2. DEVRE TASARIMI	5
3.2.1. Devrenin Girişi.....	5
3.2.2. Anahtarlamalı Güç Dönüştürücü Yapısı	5
3.2.3. Çıkış Aşaması ve Filtreleme.....	6
3.2.4. Koruma ve Geri Bildirim	7
3.3. YARIM KÖPRÜ TOPOLOJİSİ.....	7
3.3.1 Yarım Köprü Topolojisinin Temel Yapısı	7
3.3.2. Yarım Köprü Devresinin Çalışma Prensibi.....	10
3.3.3. Teorik Değerlendirme ve Avantajları.....	11
3.4. TRAFO TASARIMI VE HESAPLAMALARI	12
3.4.1. Nüve ve Manyetik Akı Yoğunluğu	12
3.4.2. Güç Hesaplamaları	13
3.4.3. Trafo Hakkında Değerlendirme.....	13
3.5. MİKROİŞLEMCİ KART, KONTROL VE HABERLEŞME DEVRELERİ.....	16
3.5.1. Mikroişlemci Kart: STM32 NUCLEO-F446RE	16
3.5.2. Mikroişlemci Kartın Baskı Devre Kartına Entegresi	17
3.5.3. Fan Kontrol Devresi	18
3.5.4. Akım Sensörü ve Akım Ölçümü	20
3.5.5. AC Giriş Kontrolü.....	22
3.5.6. UART Haberleşme	23
3.5.7. CAN Haberleşme	24
3.6. YAZILIM GELİŞTİRME ORTAMI	26

3.6.1. Pin Konfigürasyonu.....	27
3.7. UART HABERLEŞME YAZILIMI	30
3.8. CAN HABERLEŞME YAZILIMI.....	33
3.9. ADC OKUMA	35
3.9.1. ADC Yapılandırması.....	35
3.9.2. DMA ile ADC Başlatma	36
3.9.3. ADC Dönüşüm Tamamlandığında Veri İşleme	37
3.9.4. ADC Kullanımının Sistem İçindeki Önemi	37
3.10. GPIO ÇIKIŞLARI.....	38
3.10.1. GPIO Pin Konfigürasyonu	38
3.10.2. UART Üzerinden GPIO Kontrolü.....	39
3.10.3. Fan ve Yük Kontrolü.....	39
3.10.4. GPIO Kullanımının Sistem Entegrasyonundaki Önemi	39
3.11. LCD EKLAN KULLANIMI	39
3.11.1. Kullanılan Malzeme: QAPASS 1602A LCD	39
3.11.2. I2C-Arâyüz Modülü	40
3.11.3. Donanımsal Bağlantılar.....	40
3.11.4. Yazılımsal Tanımlama ve Kütüphane Kullanımı	41
3.12. PCB ÖZELLİKLERİ VE TASARIM AŞAMASI	44
3.12.1. Lehimleme Süreci	47
4. BULGULAR.....	49
4.1. DEVRE SİMÜLASYONU	49
4.2. SİMÜLASYON SONUÇLARI.....	50
4.3. DEVRE İLE YAZILIM ÇIKTISI	53
4.4. ÇIKIŞ GERİLİMİ ÖLÇÜMÜ	54
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	56
KAYNAKLAR.....	58

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1: Devrenin Girişi	5
Şekil 3.2: IR2110 Entegre ve MOSFET Bağlantıları.....	6
Şekil 3.3: Devrenin Çıkışı.....	6
Şekil 3.4: Geri Besleme	7
Şekil 3.5: Kullanılan MOSFET'ler	8
Şekil 3.6: Giriş Kapasitörleri	8
Şekil 3.7: IR2110 Bağlantıları	8
Şekil 3.8: SG3525 Entegre Bağlantıları	9
Şekil 3.9: Trafo şematik sembolü	10
Şekil 3.10: LC Filtresi.....	10
Şekil 3.11: Doğrultucu Diyotlar	11
Şekil 3.12: ETD59 Nüve Boyutları.....	12
Şekil 3.13: Trafonun Emaye Tel ile Birincil ve İkincil Sargıları	14
Şekil 3.14: Trafonun Birincil Sargısına Uygulanan Frekans Üreticinin Fotoğrafı	14
Şekil 3.15: Trafonun İkincil Sargısının Osiloskop Görüntüsü.....	15
Şekil 3.16: Trafonun Tamamlanmış Hali.....	15
Şekil 3.17: STM32 NUCLEO-F446RE Geliştirme Kartı	17
Şekil 3.18: Geliştirme kartının PCB üzerindeki görüntüsü.....	18
Şekil 3.19: Fan kontrol yuvaları.....	19
Şekil 3.20: Fan kontrol sinyal pini	19
Şekil 3.21: Kullanılan fan	20
Şekil 3.22: ACS712ELCTR-20A-T	20
Şekil 3.23: Akım sensörü devresi şematik gösterimi	21
Şekil 3.24: Akım sensörü ayak izi ve PCB tasarım üzerindeki görüntüsü	21
Şekil 3.25: AC güç anahtarlama ve kontrolü	23
Şekil 3.26: CAN dönüştürücü entegresi.....	24
Şekil 3.27: CAN devre şematik tasarımı.....	26
Şekil 3.28: STM32F446RE Pin Konfigürasyonu	28
Şekil 3.29: UART Haberleşme ayarları	31
Şekil 3.30: UART bağlantı kontrol	32
Şekil 3.31: UART için kullanılan değişkenler	32
Şekil 3.32: HAL_UART_RxCpltCallback fonksiyonu.....	33

Şekil 3.33: CAN Parametreleri	34
Şekil 3.34: HAL_CAN_RxFifo0MsgPendingCallback() fonksiyonu	34
Şekil 3.35: HAL_ADC_Start_DMA() kullanıldığı satır	36
Şekil 3.36: ADC kesme fonksiyonu	37
Şekil 3.37: MX_GPIO_Init() fonksiyonu	38
Şekil 3.38: QAPASS 1602A 2x1 lik LCD led	39
Şekil 3.39: I2C modülü	40
Şekil 3.40: LCD ekran, modül ve STM bağlantıları	41
Şekil 3.41: liquidcrystal_i2c.c dosyası konumu	42
Şekil 3.42: liquidcrystal_i2c.h dosyası konumu	42
Şekil 3.43: LCD ekrana yazma kodu	43
Şekil 3.44: PCB tasarım Alt katman görüntüsü	44
Şekil 3.45: PCB tasarım ön katman görüntüsü	45
Şekil 3.46: PCB serigrafi katmanı	46
Şekil 3.47: PCB kartı lehimleme öncesi görüntüsü	47
Şekil 3.48: PCB kartı lehimleme sonrası görüntüsü	48
Şekil 4.1: LTSpice simülasyon dosyası	49
Şekil 4.2: A düğümünün olması gereken -70V görüntüsü	50
Şekil 4.3: IR2110 1. pini olan LOW OUT LO çıkışı	50
Şekil 4.4: SG3525 14. pini olan OUT B çıkış sinyali ($V_{pp} = 11V$)	51
Şekil 4.5: SG3525 11. pini olan OUT A çıkış sinyali ($V_{pp} = 11V$)	51
Şekil 4.6: LM7812 OUT pini voltajı	52
Şekil 4.7: Birinci ekran	53
Şekil 4.8: İkinci ekran	53
Şekil 4.9: ADC ile temperature değişkeni değerini okuma	54
Şekil 4.10: Kart çalışırken ki görüntüsü	54
Şekil 4.11: Çıkış gerilimi ölçümü	55

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1: Fan Özellikleri.....	19
Tablo 3.2: Akım sensörü özellikleri.	22
Tablo 3.3: MCP2551 özellikleri.	25
Tablo 3.4: STM32F446RE Pin Konfigürasyonu.	27
Tablo 3.5: I2C modül ile STM pin bağlantıları.	40

DENKLEM LİSTESİ

Denklem 2.1: Frekans Hesaplama	2
Denklem 3.1: Kesit Alanı Hesaplama	13
Denklem 3.2: Pencere Alanı ve Kesit Alanı Çarpımının Eşitliği	13
Denklem 4.1: Güç Hesaplaması	52

KISALTMA LİSTESİ

DA	Doğru Akım
AA	Alternatif Akım
V	Volt
mV	Milivolt
A	Amper
PWM	Darbe Genişlik Modülasyonu
MOSFET	Metal Oksit Yarı İletken Alan Etkili Transistör
BYS	Batarya Yönetim Sistemi
SMPS	Anahtarlamalı Güç Kaynağı
LLC	Endüktif-Endüktif-Kapasitif Rezonans Devresi
CAN	Denetleyici Alan Ağı
UART	Evrensel Asenkron Alıcı Verici
IGBT	Yalıtılmış Kapılı İki Kutuplu Transistör
KB	Kilobyte
SRAM	Statik Rastgele Erişimli Bellek
RTC	Gerçek Zamanlı Saat
SWD	Seri Kablosuz Hata Ayıklama
MCU	Mikrodenetleyici Birim
LED	Işık Yayan Diyot
IoT	Nesnelerin İnterneti
PCB	Baskılı Devre Kartı
GND	Toprak
GPIO	Genel Amaçlı Giriş/Çıkış
ADC	Analogdan Dijitale Dönüştürücü
TXD	Veri Gönderme
RXD	Veri Alma
I2C	Entegre Devreler Arası Seri İletişim
HAL	Donanım Soyutlama Katmanı
SDA	Seri Veri Hattı
USART	Evrensel Senkron/Asenkron Alıcı Verici
SWDIO	Seri Hata Ayıklama Veri Girişi/Çıkışı
SWDCLK	Seri Hata Ayıklama Saat Sinyali
JTAG	Birleşik Test Eylem Grubu
JTMS	JTAG Test Modu Seçme
DMA	Doğrudan Bellek Erişimi
ASCII	Amerikan Standart Kodlama Sistemi
LCD	Sıvı Kristal Ekran
SMD	Yüzeye Montajlı Bileşen
THT	Delikten Geçmeli Teknoloji

1. GİRİŞ

Günümüzde fosil yakıtların tükenmesi, çevresel sorunların artması ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına olan ilginin yükselmesiyle birlikte elektrikli araçlar, otomotiv sektöründe önemli bir konuma gelmiştir. Elektrikli araçların verimli, güvenli ve yaygın biçimde kullanılabilmesi, yalnızca batarya teknolojilerinin gelişimiyle değil, aynı zamanda bu bataryaların şarj edilme biçimiyle de doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda, yerleşik şarj birimleri araçların şehir şebekesine doğrudan bağlanarak şarj edilebilmesini mümkün kılan ve kullanıcı deneyimini iyileştiren önemli alt sistemlerden biridir [1].

Yerleşik şarj birimi, şehir şebekesinden alınan alternatif akım (AA) enerjisini, batarya grubu için gerekli olan doğru akım (DA) gerilim ve akım değerlerine dönüştürmektedir. Bu dönüşüm süreci, sadece güç dönüşümünü değil, aynı zamanda sistem güvenliğini, elektromanyetik uyumluluğu ve verimliliği de kapsayan çok yönlü bir mühendislik problemidir. Özellikle elektrikli araçlarda sınırlı yer, ağırlık ve ısı koşulları altında yüksek verimle çalışabilecek sistemlerin geliştirilmesi gereklidir [2].

Literatürde yerleşik şarj birimlerinin tasarımı üzerine yapılan çalışmalar genellikle belirli topolojilere odaklanmakta ve çoğunlukla ya simülasyon tabanlı analizler ya da sadece kontrol veya güç devresine yönelik uygulamalarla sınırlı kalmaktadır [3]. Oysa hem kontrol devresinin hem de güç elektroniği kısmının entegre bir biçimde ele alınması, sistemin bütüncül değerlendirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu tez çalışmasında, şehir şebekesinden alınan enerjiyi elektrikli araç bataryasını şarj edebilecek uygun DA gerilim ve akım düzeylerine dönüştürebilen, yarım köprü topolojisine sahip bir yerleşik şarj birimi geliştirilmiştir.

Tasarım sürecinde, SG3525 entegresi ile PWM sinyali oluşturulmuş, bu sinyal IR2110 sürücü entegresi aracılığıyla MOSFET'lere iletilerek sistemin anahtarlama sağlanmıştır. Bu yapı, hem sistemin yüksek verimle çalışmasını mümkün kılmakta hem de modüler ve düşük maliyetli çözümler sunmaktadır. Yarım köprü topolojisinin seçilmesindeki temel etkenler arasında, düşük anahtarlama kayıpları, basitleştirilmiş sürücü yapısı ve maliyet avantajı yer almaktadır [4].

Bu çalışmanın özgün yönü, hem kontrol hem de güç devrelerinin donanımsal olarak bütünleşik şekilde tasarlanması ve şehir şebekesi ile batarya grubu arasında güvenli ve verimli bir enerji dönüşümünün sağlanmasıdır. Ayrıca, sistem tasarımında batarya yönetim sistemi (BYS) ile haberleşmeye olanak tanıyan seri iletişim protokollerinin desteklenmesi, sistem güvenliği açısından kritik bir gereklilik olarak ele alınmıştır [1].

Bu tez, yalnızca akademik anlamda literatüre katkı sunmakla kalmayıp, aynı zamanda endüstride uygulanabilir bir prototip sunarak elektrikli araç teknolojilerinin gelişimine mühendislik temelli bir katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

2. GENEL KISIMLAR

Elektrikli araç teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, araç içi enerji dönüşüm sistemlerinin güvenilirliği ve verimliliği ön plana çıkmıştır. Bu sistemlerin temel unsurlarından biri olan yerleşik şarj birimleri şehir şebekesinden temin edilen alternatif akımı (AC), bataryaların ihtiyaç duyduğu doğru akım (DC) seviyesine dönüştürmekle sorumludur. Araç içinde sınırlı alan ve termal yönetim gereksinimleri göz önünde bulundurulduğunda, bu birimlerin hem kompakt yapıda hem de yüksek verimle çalışması büyük önem taşımaktadır [1].

Bu bağlamda, güçlü ve kararlı bir şarj altyapısı tasarlamak, batarya ömrünü uzatmakla kalmayıp, aynı zamanda şarj süresini optimize ederek kullanıcı deneyimini de iyileştirir. Günümüzde tercih edilen birçok çözüm, anahtarlamalı güç kaynakları yapısını temel alırken, yarım köprü gibi topolojiler, maliyet, karmaşıklık ve verimlilik açısından dengeli çözümler sunmaktadır [2].

Bu çalışma kapsamında, şehir şebekesinden alınan AC girişin, elektrikli bir aracın batarya grubu için gerekli olan uygun DC seviyeye dönüştürüldüğü bir yerleşik şarj sistemi tasarlanmıştır. Güç katmanında yarım köprü topolojisi tercih edilmiş ve devre, SG3525 entegresi kullanılarak sürülmüştür. Bu entegre ile oluşturulan 50 kHz frekansındaki PWM sinyalleri, IR2110 sürücü entegresi ile MOSFET anahtarlara iletilmiş ve sistemin senkronize anahtarlanması sağlanmıştır.

Kullanılan SG3525 entegresi, frekans belirleme formülüyle hesaplanan teorik değere yakın bir frekansta çalışacak şekilde yapılandırılmıştır:

$$f = \frac{1}{C_T(0.7 R_t + 3 R_D)} \quad (\text{STMicroelectronics, 2004}) \quad (\text{Denklem 2.1: Frekans Hesaplama})$$

Burada, $C_T = 1$, $R_t = 15 \text{ k}\Omega$ ve $R_D = 33 \text{ }\Omega$ olarak seçildiğinde, yaklaşık 94.3 kHz frekans değeri elde edilmiştir. Bu değere göre A ve B çıkışlarından elde edilen iki PWM sinyali, her biri 50 kHz frekansta ve birbirinin zıttı olacak şekilde çalışmaktadır.

Çalışmada, yalnızca kontrol katmanı değil; güç elektroniği, sürücü tasarımı ve sinyal bütünlüğü gibi unsurlar da kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Literatürde çoğunlukla ya yalnızca kontrol algoritmalarına ya da güç topolojisine odaklanan çalışmalar yer almaktadır. Bu tez ise hem sürücü devresini hem de güç katını kapsayan donanımsal bir çözüm sunarak uygulamaya yönelik bütünsel bir yaklaşım ortaya koymaktadır [3][4].

2.1 LİTERATÜR TARAMASI

Yerleşik şarj birimleri üzerine yapılan akademik çalışmalar, çoğunlukla AA-DA dönüştürme teknikleri, topoloji seçimi, verimlilik artırımı ve elektromanyetik girişim azaltımı üzerine yoğunlaşmaktadır.

Yılmaz ve arkadaşları, yarım köprü ve tam köprü yapılarının karşılaştırıldığı bir çalışmada, yarım köprü topolojisinin düşük maliyet ve daha az anahtarlama kaybı sunduğunu belirtmiştir [1]. Benzer şekilde, Zhang, SMPS tabanlı yerleşik şarj cihazlarında verimliliğin, kullanılan sürücü devresine ve anahtarlama frekansına bağlı olduğunu vurgulamıştır [2].

Geleneksel SG3525 entegresi ile IR2110 MOSFET sürücüsünün kullanıldığı örnekler daha çok güç elektroniği eğitim devrelerinde yer almakta olup, elektrikli araç bağlamında bu iki entegreyi bütünleşik şekilde kullanan donanım temelli uygulamaların sayısı sınırlıdır [3]. Bu açıdan, tez çalışması hem kontrol hem de güç devrelerinin detaylı şekilde tasarlanması ve uygulanması yönüyle literatürdeki boşluğu doldurmayı hedeflemektedir.

2.1.1. Temel Kavramlar ve Tanımlar

- **Yerleşik Şarj Birimi:** Elektrikli araç içerisine entegre edilen ve şehir şebekesinden aldığı alternatif akımı doğru akıma çevirerek batarya şarjı sağlayan sistemdir.
- **Anahtarlama Güç Kaynağı:** Elektrik enerjisinin dönüşümünü yüksek frekansta anahtarlama yöntemiyle gerçekleştiren, verimli ve kompakt yapılı güç kaynağıdır.
- **Yarım Köprü Topolojisi:** İki anahtarlama elemanı MOSFET ile oluşturulan ve simetrik çıkış sağlayan bir güç elektroniği topolojisidir.
- **SG3525 Entegresi:** Darbe Genişlik Modülasyonu sinyali üretmekte kullanılan bir kontrol entegresidir.
- **IR2110 Sürücü Entegresi:** Yüksek ve düşük taraf MOSFET'leri kontrol eden, SG3525'ten aldığı sinyalleri güçlendirerek MOSFET'leri süren bir sürücü entegresidir.

2.1.2. Çalışmanın Konumu ve Özgünlüğü

Bu tez çalışması kapsamında, elektrikli araçlarda kullanılmak üzere şehir şebekesinden gelen AA gerilimi, batarya grubu için uygun DA gerilim ve akım seviyelerine dönüştüren bir yerleşik şarj birimi kartı tasarlanmıştır. Anahtarlama güç kaynağı temelli devre yapısında yarım köprü topolojisi kullanılmış, SG3525 entegresi ile üretilen sinyaller IR2110 MOSFET sürücü entegresi aracılığıyla iletilerek sistemin güvenli ve kararlı çalışması sağlanmıştır.

Literatürde genellikle ya sadece simülasyon temelli çalışmalar ya da yalnızca güç devresi veya kontrol devresine odaklanan uygulamalar bulunmaktadır. Bu tez, gerçek donanım üzerinde hem sürücü devresi hem de güç elektroniği tasarımını bir arada sunmasıyla uygulamaya dönük bütüncül bir çözüm sunmaktadır. Bu yönüyle literatüre teknik anlamda özgün bir katkı sağlaması hedeflenmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. SİSTEM GEREKSİNİMLERİ

Yerleşik şarj birimi, elektrikli araçlarda batarya grubunun harici AC şebeke kaynağından beslenerek şarj edilmesine imkân tanıyan ve araç üzerinde kalıcı şekilde entegre edilen anahtarlama bir güç elektroniği sistemidir. Bu birim, batarya yönetim sistemi (BYS) ile birlikte çalışarak bataryanın şarj sürecini güvenli, kontrollü ve verimli şekilde gerçekleştirmelidir. [5]

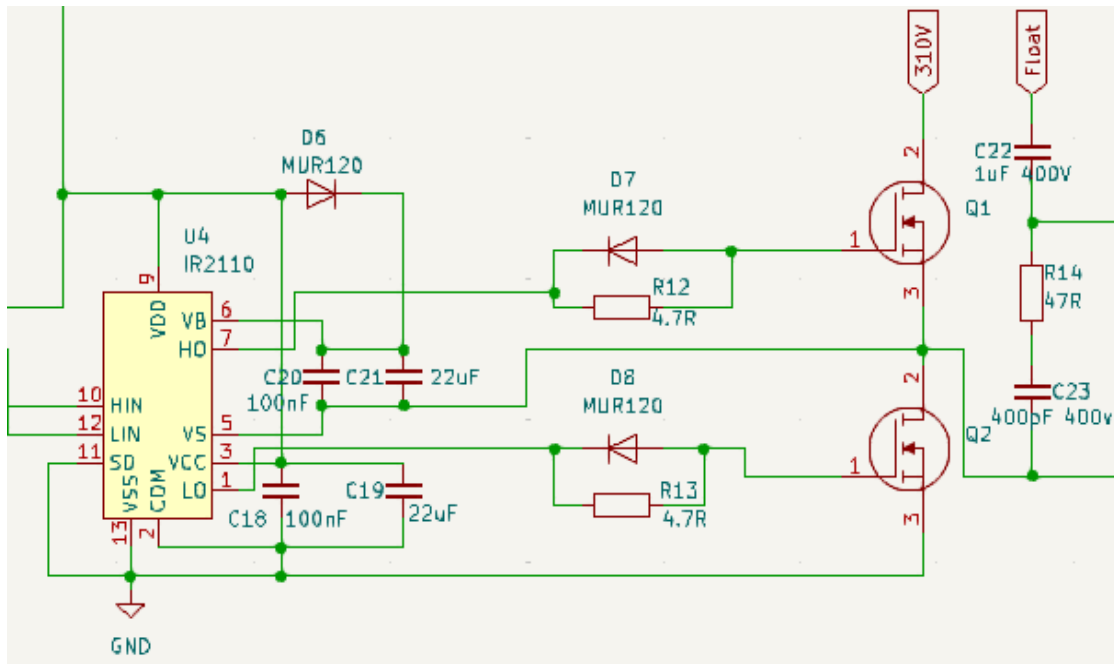
Öncelikli olarak, yerleşik şarj biriminin çıkış gücü kapasitesine ilişkin gereksinim tanımlanmıştır. Araçta kullanılacak batarya grubunun, kabul edilebilir sürede şarj edilmesini sağlamak amacıyla şarj biriminin çıkış gücü en az 500 watt seviyesinde olmalıdır. [5] Bu değer hem batarya kapasitesi hem de kullanıcı beklentileri dikkate alınarak alt sınır olarak belirlenmiştir. Bu seviyenin altındaki çıkış gücü, batarya şarj süresini uzatarak hem operasyonel verimliliği düşürecek hem de kullanıcı deneyimini olumsuz etkileyecektir. Bu nedenle minimum 500 W güç şartı zorunludur.

Şarj biriminin enerji kaynağı tek fazlı AC şebeke olacaktır. Bu kapsamda sistem, 85–264 volt AC aralığında giriş gerilimini kabul edebilmeli ve 47–60 Hz frekans bandında çalışabilmelidir. [5] Bu geniş giriş aralığı, farklı ülkelerdeki şebeke koşulları ve gerilim dalgalanmaları dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu sayede sistemin, düşük gerilim ve aşırı gerilim gibi senaryolarda da kararlı çalışması sağlanacaktır.

Yerleşik şarj birimi tasarımında kullanılabilecek anahtarlama güç kaynağı topolojileri konusunda esneklik tanınmıştır. Tam-köprü ve yarım-köprü gibi klasik ve endüstride yaygın olarak kullanılan SMPS topolojileri tercih edilebilir. Bunların yanı sıra, flyback, forward converter, LLC rezonanslı konvertör gibi alternatif anahtarlama topolojiler de tasarım gereksinimlerini karşılaması koşuluyla kullanılabilir. Ancak hangi topoloji kullanılırsa kullanılsın, şebeke ile batarya grubu arasında elektriksel izolasyonun sağlanması zorunludur. Bu izolasyon, yüksek frekanslı bir güç trafosu (HF transformer) aracılığıyla gerçekleştirilmelidir. Bu gereklilik hem kullanıcı güvenliği hem de cihazın IEC 60950-1, IEC 61851-21 gibi uluslararası güvenlik standartlarına uyumlu olması açısından zorunludur. [5]

Buna karşılık, aşağıdaki tasarım yöntemleri ve devre topolojileri kesin olarak kabul edilmez ve geçersiz sayılır. Şebeke frekansında (50/60 Hz) çalışan trafolar ile şebeke geriliminin doğrudan düşürüldüğü veya yükseltildiği devreler anahtarlama güç kaynağı sınıfına girmez ve uygun değildir [5]. Benzer şekilde, yalnızca izolasyon amacıyla şebeke frekansında çalışan trafoların kullanıldığı sistemler de bu kapsamda değerlendirilmez. Ayrıca, AA Faz Açısı Kontrolü (örneğin triyak, diyak vb. elemanlarla gerçekleştirilen faz kontrolü) yönteminin kullanıldığı devreler; yani şebeke geriliminin kıyılıp doğrudan trafoya veya bataryaya aktarıldığı sistemler de anahtarlama güç kaynağı olarak değerlendirilmez ve kabul edilmez [5]. Yine, şebeke geriliminin sadece doğrultulup ardından yalıtımsız bir buck veya buck-boost dönüştürücü ile gerilimin düşürülmesi yöntemi, izolasyon eksikliği nedeniyle IEC 62109-1 gibi güvenlik standartları açısından kabul edilemez.

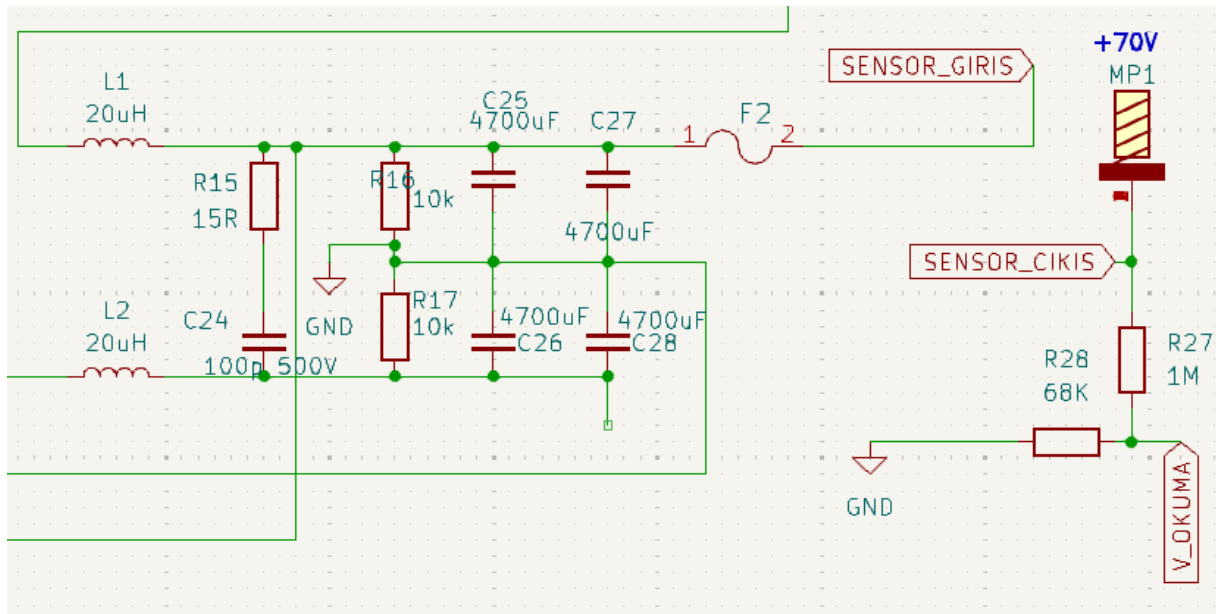
Şarj biriminin temel amacı, aracın batarya grubunu şarj etmek olmalı ve bu işlevi her durumda kesintisiz şekilde yerine getirmelidir. Bu bağlamda tasarım, mekanik entegrasyon, ısıl yönetim ve titreşim dayanımı açısından da araç ortamına uygun olarak optimize edilmelidir.



Şekil 3.2: IR2110 Entegre ve MOSFET Bağlantıları

3.2.3. Çıkış Aşaması ve Filtreleme

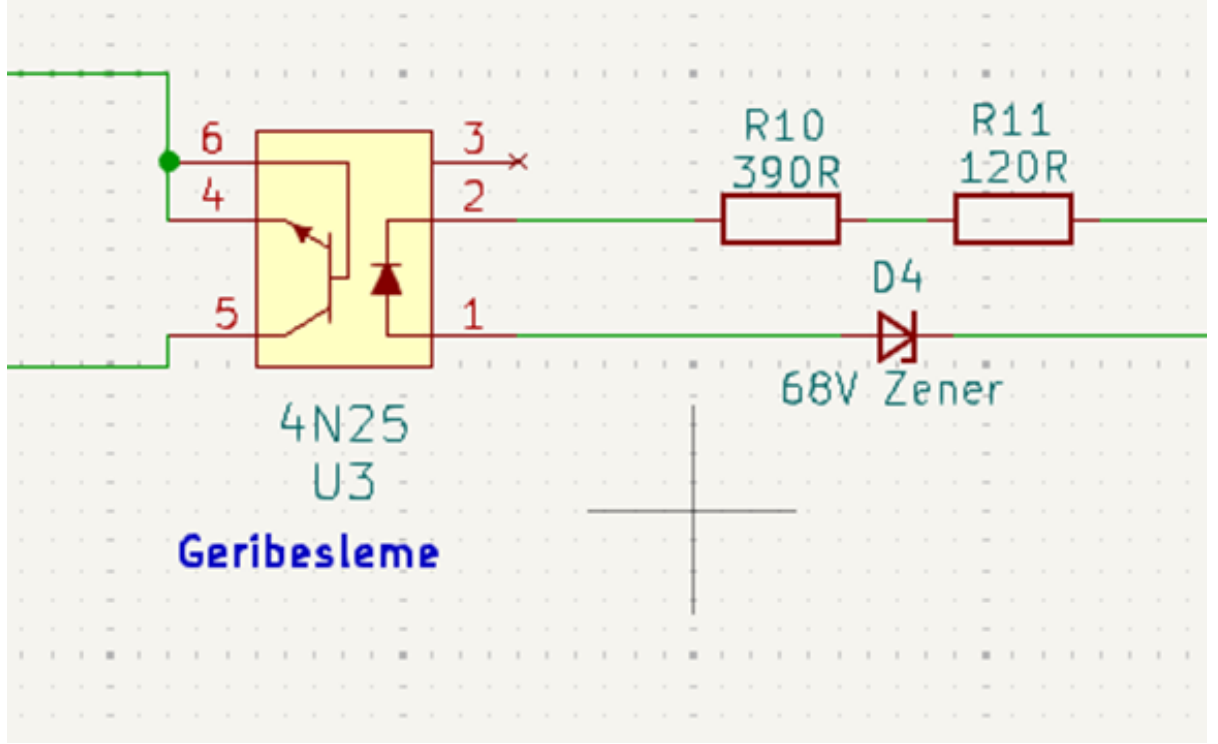
Transformatör sekonder ucunda elde edilen yüksek frekanslı sinyal, hızlı toparlanan diyotlar ile doğrultulmuş, ardından bobin ve kondansatör ile pürüzsüz bir DA gerilime dönüştürülmüştür. Çıkış gerilimi, batarya grubunun ihtiyaçlarına göre yaklaşık 70 V DC, çıkış akımı ise yaklaşık 10 A olacak şekilde ayarlanmıştır [2].



Şekil 3.3: Devrenin Çıkışı

3.2.4. Koruma ve Geri Bildirim

Sistem güvenliği açısından aşırı akım, aşırı gerilim ve kısa devre koruma mekanizmaları da devreye entegre edilmiştir. Bu amaçla, çıkış hattına yerleştirilen sönt direnç üzerinden akım geri bildirimi alınmakta; SG3525 entegresi bu bilgiyi değerlendirerek Darbe Genişlik Modülasyonu sinyal genişliğini dinamik olarak ayarlamaktadır. Böylece sistem, çıkış yüküne göre kendini düzenleyebilmektedir [1], [3]. Ek olarak, çıkış gerilimi bir gerilim bölücü yardımıyla izlenmekte ve hata durumlarında entegre Darbe Genişlik Modülasyonu çıkışını kesmektedir.



Şekil 3.4: Geri Besleme

3.3. YARIM KÖPRÜ TOPOLOJİSİ

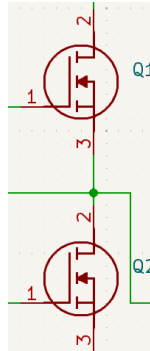
Elektrikli araçlar için geliştirilen yerleşik şarj birimleri, alternatif akım kaynağından alınan enerjiyi doğru akıma çevirerek batarya grubuna ileten sistemlerdir. Bu sistemlerde yüksek verimlilik, düşük maliyet ve kompakt yapı elde edebilmek için anahtarlama güç kaynakları yaygın şekilde kullanılır [1]. Bu tip güç kaynaklarında en yaygın topolojilerden biri olan yarım köprü yapısı, özellikle orta güçlü uygulamalar için oldukça uygundur [2].

3.3.1 Yarım Köprü Topolojisinin Temel Yapısı

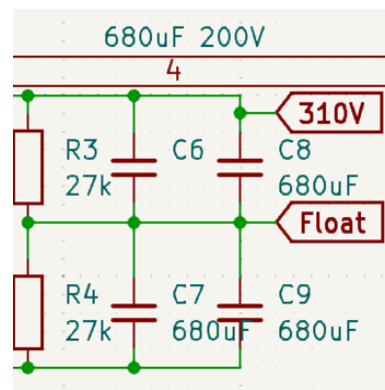
Half-bridge topolojisi, genellikle iki adet MOSFET veya IGBT anahtarlama elemanından oluşur. Bu elemanlar sırayla ilettime geçirilerek, çıkışta alternatif bir darbe dizisi oluşturur. Bu yapı şu ana bileşenlerden meydana gelir:

- MOSFET (2 adet)
- Giriş Kapasitörleri (Seri Bağlı)
- IR2110 Sürücü Entegresi

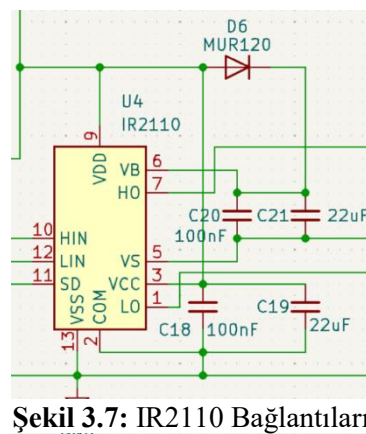
- SG3525 PWM Üretici Entegrəsi
- Yüksek Frekanslı Güç Trafosu
- Doğrultucu ve Filtre Devresi



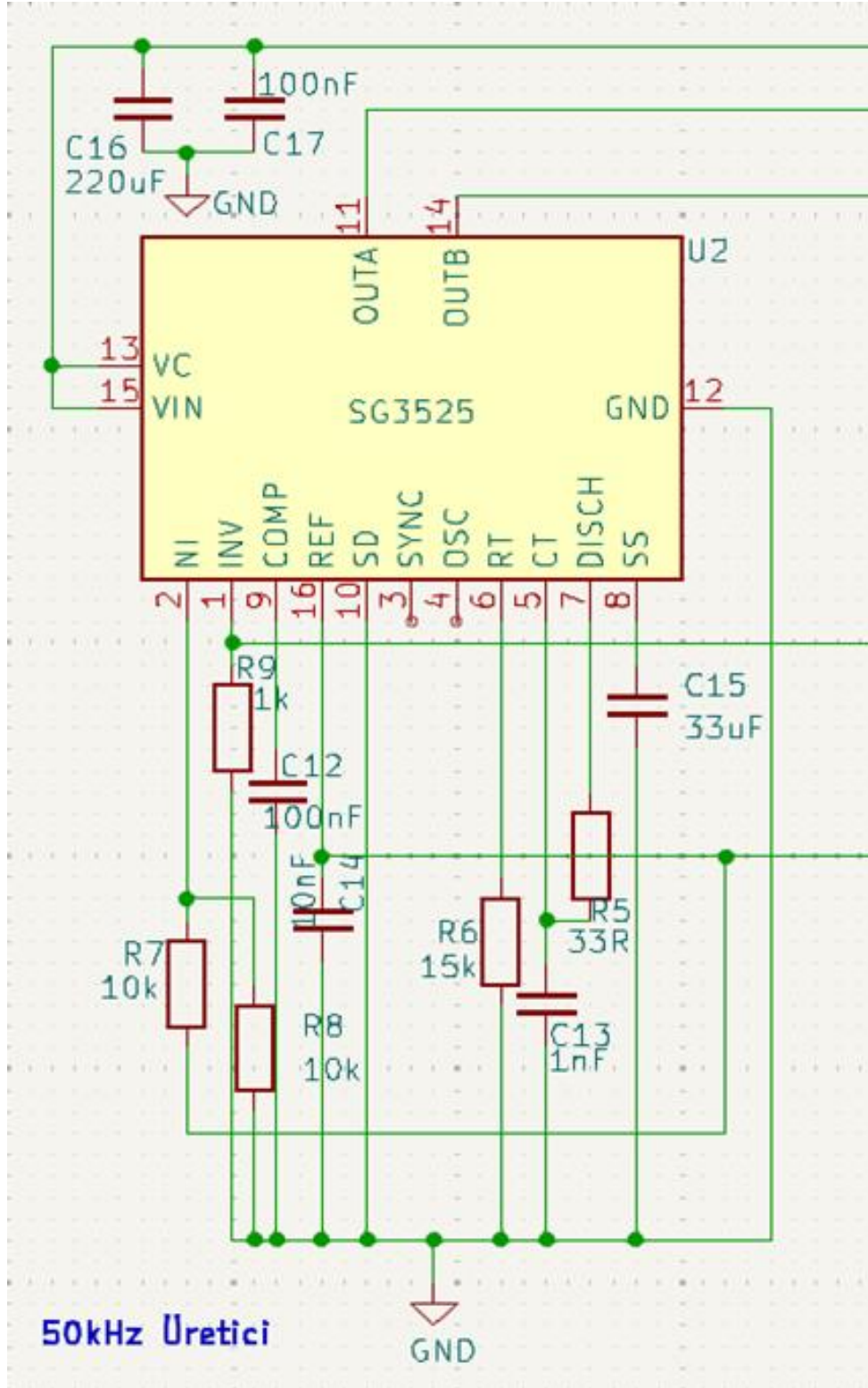
Şekil 3.5: Kullanılan MOSFET'ler



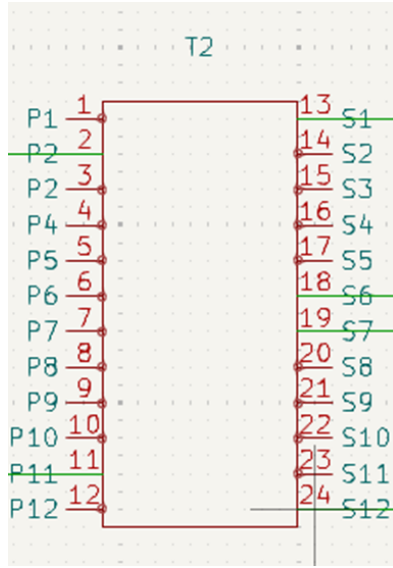
Şekil 3.6: Giriş Kapasitörleri



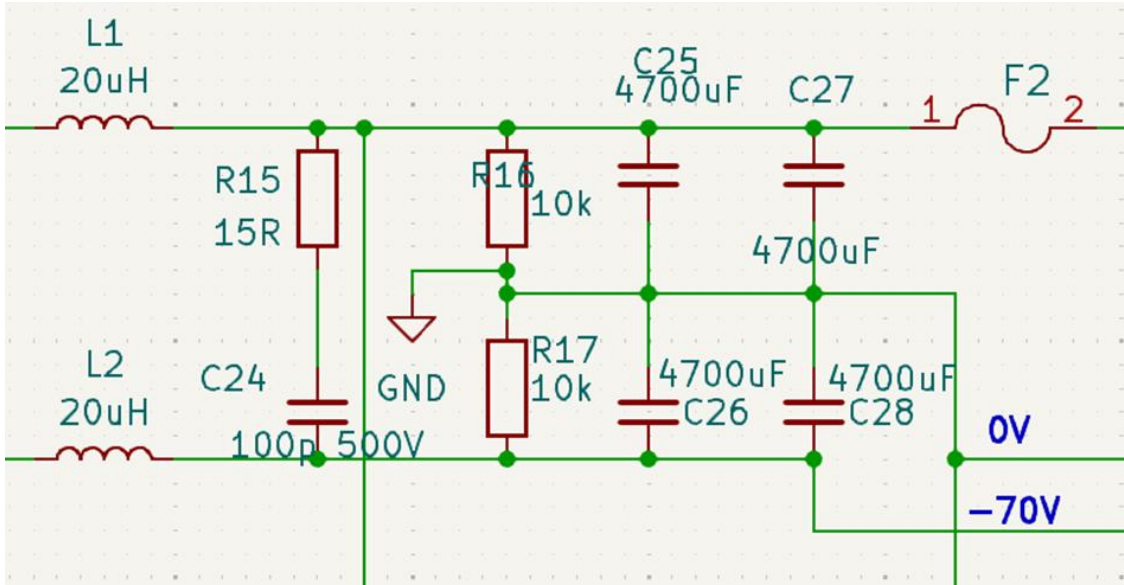
Şekil 3.7: IR2110 Bağlantıları



Şekil 3.8: SG3525 Entegre Bağlantıları



Şekil 3.9: Trafo şematik sembolü



Şekil 3.10: LC Filtresi

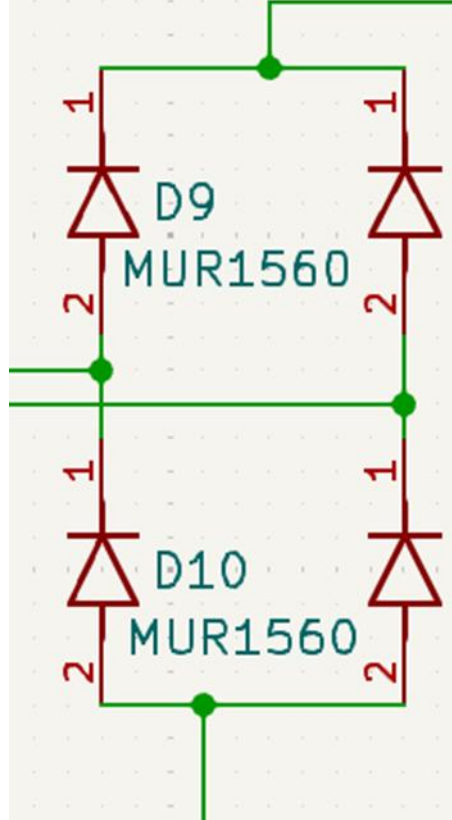
3.3.2. Yarım Köprü Devresinin Çalışma Prensibi

Devreye şehir şebekesinden gelen AA gerilim, bir doğrultucu ve filtre katı yardımıyla önce DA gerilime çevrilir. Bu DA gerilim daha sonra yarım köprü topolojisinin girişine uygulanır.

SG3525 entegresi, sabit frekansta örneğin 50 kHz karşılıklı PWM sinyalleri üretir. Bu sinyaller, IR2110 gibi bir sürücü entegresi aracılığıyla yüksek ve düşük MOSFET'lere iletilir. IR2110 entegresi, üstteki MOSFET için ön yükleme devresi tekniği ile sürme yapar ve MOSFET'lerin aynı anda iletme geçmemesi için ölü zaman uygular [6].

MOSFET'ler sırayla anahtarlanarak trafonun birincil sargısına pozitif ve negatif darbeler uygulanır. Bu işlem, yüksek frekansta ve değişken genel çevrimlerinde gerçekleştiğinden dolayı çıkışta yüksek frekanslı alternatif gerilim oluşur. Trafo, bu sinyali hem galvanik izolasyon sağlamak hem de gerilim seviyesini ayarlamak için kullanılır [7].

Trafo ikincil ucundaki sinyal, yüksek frekanslı diyotlarla doğrultulur ve LC filtre devresi yardımıyla düzgün bir DA gerilim elde edilir. Bu gerilim, elektrikli aracın batarya grubunun şarj edilebilmesi için istenilen seviyeye göre tasarlanır [8].



Şekil 3.11: Doğrultucu Diyotlar

Birçok uygulamada, çıkış gerilimi ve akımı sürekli izlenir ve SG3525 entegresine geri besleme sinyali gönderilir. Bu sayede genel çevrimi ayarlanarak çıkış gerilimi sabit tutulur. Aşırı akım, aşırı gerilim ve ısı gibi parametreler için koruma devreleri eklenir [9].

3.3.3. Teorik Değerlendirme ve Avantajları

- **Anahtarlama Frekansı:** Genellikle 20 kHz - 100 kHz arasında seçilir. Frekans arttıkça trafo boyutu küçülür, ancak anahtarlama kayıpları artar [10].
- **Genel Çevrim:** Çıkış geriliminin kontrolü için kritik parametredir. Tipik olarak %0-%90 aralığında çalışır.
- **Ölü Zaman:** İki MOSFET'in aynı anda iletme geçmesini önlemek için mikro saniyelik gecikme uygulanır [11].
- **Verimlilik:** İyi bir tasarımda yarım köprü topolojisi %90'ın üzerinde verimlilik sağlayabilir [12].

Elektrikli araçlarda kullanılan yerleşik şarj birimlerinde yarım köprü topolojisi şu avantajları sunar:

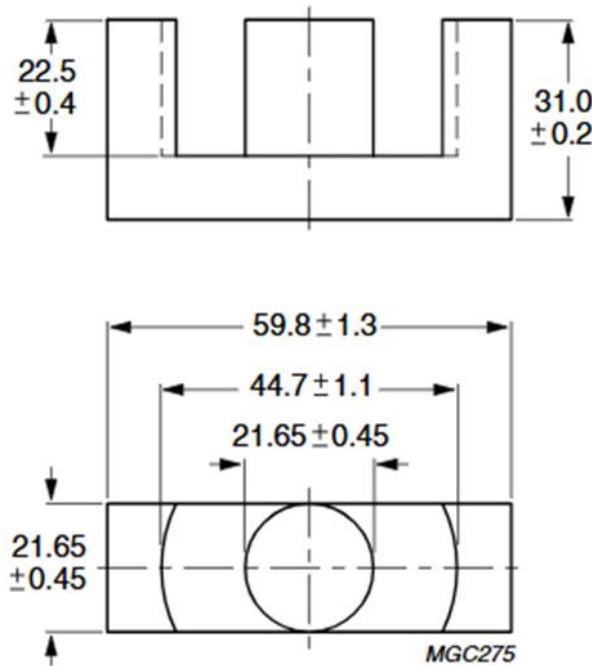
- Kompakt ve ekonomik yapı
- Yüksek verimlilik
- Galvanik izolasyon imkânı
- Darbe Genişlik Modülasyonu kontrollü çıkış ayarı
- Transformatör ile çoklu çıkışlar üretme imkânı [1], [3]

3.4. TRAFÖ TASARIMI VE HESAPLAMALARI

3.4.1. Nüve ve Manyetik Akı Yoğunluğu

Yerleşik şarj birimlerinde kullanılan dönüştürücülerin güvenli ve verimli çalışabilmesi için, trafo nüvesi seçimi kritik bir parametredir. Bu çalışmada, half-bridge topolojisine uygun olarak ETD59 tipi ferrit nüve tercih edilmiştir. ETD tipi nüveler, yüksek frekansta çalışan anahtarlama güç kaynaklarında yaygın olarak kullanılmaktadır [13].

ETD59 ferrit nüvesi, 25 kHz ile 400 kHz aralığında çalışmaya uygun olup [14], bu tez kapsamında tasarlanan sistemde SG3525 entegresi ile yaklaşık 50 kHz anahtarlama frekansı kullanılacaktır. Bu bağlamda ETD59 nüvesi, seçilen frekans aralığı için uygun fiziksel ve manyetik özelliklere sahiptir.



Şekil 3.12: ETD59 Nüve Boyutları

Nüvenin fiziksel boyutları, enerji aktarımı sırasında doyuma ulaşmaması için oldukça önemlidir. ETD59 nüvesi için kesit alanı (A_c) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$A_c = 21.65 \times 21.65 = 4.687 \text{ cm}^2$$

(Denklem 3.1: Kesit Alanı Hesaplama)

w_a = Pencere alanı olarak bilinir ETD59 için 1.75 cm^2 ie 2 cm^2 arasındadır.

k_t = Çalışma topolojisi katsayıdır. Half bridge topolojisi için bu değer 0.0014'tür.

Manyetik akı yoğunluğu, nüvenin doyuma ulaşmadan çalışabilmesi için dikkatle belirlenmelidir. ETD59 nüvesi için kullanılan 3C97 malzeme bilgi sayfasında, 25 kHz frekans ve 100°C sıcaklıkta maksimum 3300 Gauss değeri verilmiştir. Bu tez çalışmasında sistemin yaklaşık 50°C sıcaklıkta çalışacağı öngörülmüş, bu nedenle güvenli bir sınır olarak $B_m = 2800$ Gauss değeri esas alınmıştır [17].

3.4.2. Güç Hesaplamaları

Trafo üzerinden aktarılacak güç, sistemin çıkış gerilimi ve akımı dikkate alınarak hesaplanmıştır:

Verilen değerlere göre trafo gücünün hesaplanması;

$$w_a A_c = \frac{P_{out} \times 500}{k_t \times B_{max} \times F_{sw}} \quad (\text{Denklem 3.2: Pencere Alanı ve Kesit Alanı Çarpımının Eşitliği})$$

$w_a = 1.75 \text{ cm}^2$ alınarak hesaplanmıştır.

$$1.75 \times 4.687 = \frac{P_{out} \times 500}{0.0014 \times 2800 \times 50 \times 10^3}$$

$$8.02 \text{ cm}^4 = \frac{P_{out} \times 500}{196,000}$$

$$P_{out} = \frac{8.02 \times 196,000}{500}$$

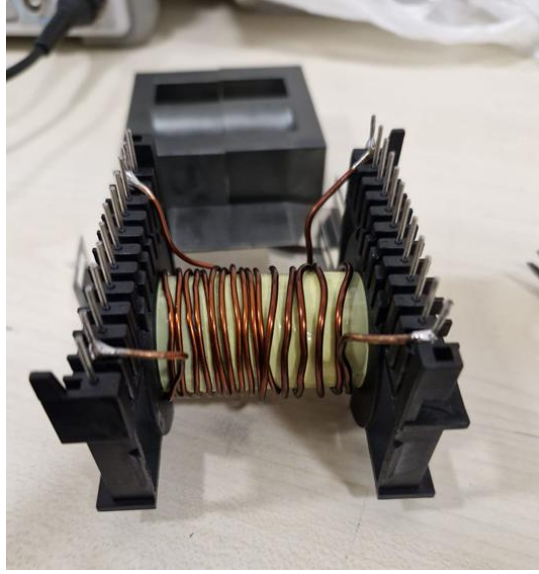
$P_{out} = 3,143.84 \text{ Watt}$ olarak bulunur.

Devrenin çalışması istenilen Watt değeri ve trafo üzerine düşecek olan;

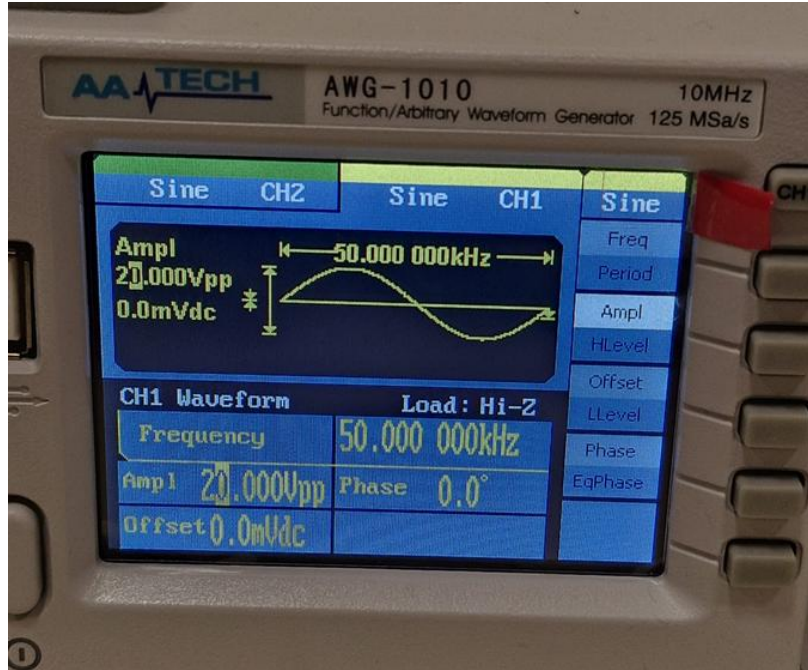
($70\text{V} \times 10\text{A} = 700 \text{ Watt}$) düşünüldüğünde trafo çalışma gücü yeterlidir.

3.4.3. Trafo Hakkında Değerlendirme

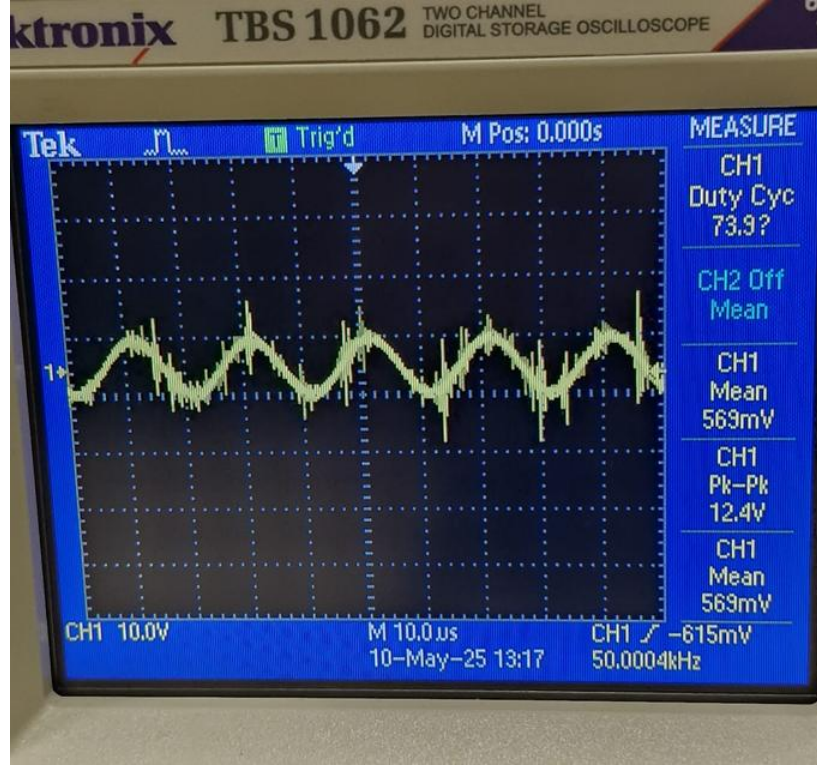
Yapılan hesaplamalar neticesinde, ETD59 ferrit nüvesi, seçilen çalışma frekansı (50 kHz), güç seviyesi (700 W), manyetik akı yoğunluğu (2800 Gauss) ve sargı sayıları dikkate alındığında, tasarlanan yerleşik şarj birimi için teknik olarak uygun bir çözüm sunmaktadır. Nüvenin manyetik karakteristikleri ve boyutları, hem verimlilik hem de doyum önleme açısından yeterlidir. Ayrıca, bu tip hesaplamaların Flyback, Full-Bridge ve Push-Pull gibi diğer topolojilerle karşılaştırıldığında, yarım köprü topolojisinde daha kompakt ve verimli çözümler sağladığı literatürde de vurgulanmıştır [18], [19].



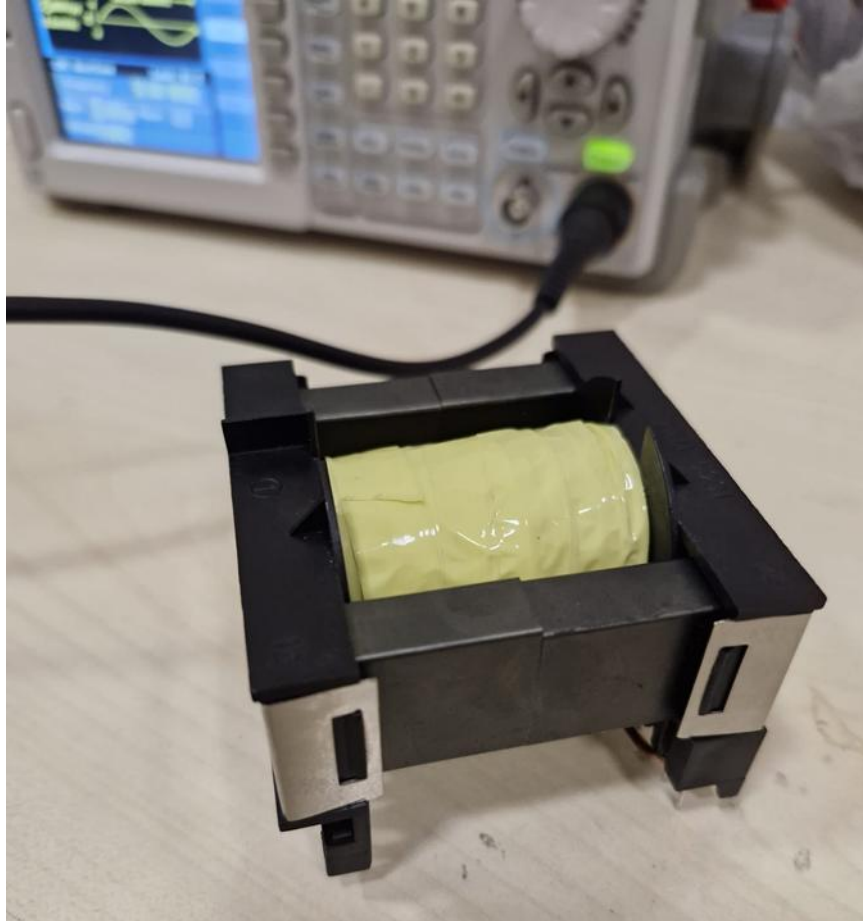
Şekil 3.13: Trafonun Emaye Tel ile Birincil ve İkincil Sargıları



Şekil 3.14: Trafonun Birincil Sargısına Uygulanan Frekans Üreticinin Fotoğrafi



Şekil 3.15: Trafonun İkincil Sargısının Osiloskop Görüntüsü



Şekil 3.16: Trafonun Tamamlanmış Hali

Trafonun sargıları yapılmış olup test edildikten sonra koruma amacıyla polyester trafo izolasyon bandıyla sarılmıştır.

3.5. MİKROİŞLEMCİ KART, KONTROL VE HABERLEŞME DEVRELERİ

3.5.1. Mikroişlemci Kart: STM32 NUCLEO-F446RE

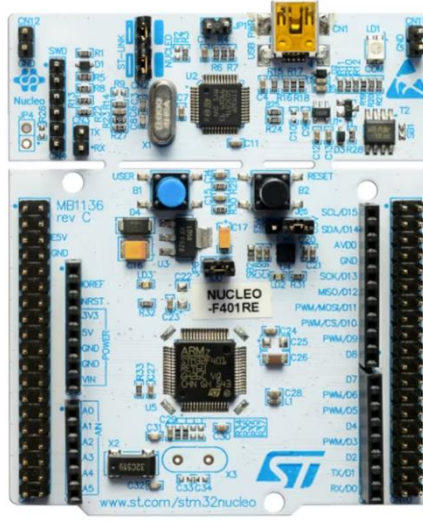
STM32 NUCLEO-F446RE geliştirme kartı, STMicroelectronics tarafından sunulan çok yönlü ve yüksek performanslı bir platformdur. Bu kart, ARM Cortex-M4 tabanlı STM32F446RE mikrodenetleyicisini temel almakta olup, gömülü sistem uygulamalarında prototipleme ve geliştirme süreçlerini hızlandırmak amacıyla tasarlanmıştır. Kartın merkezinde bulunan STM32F446RE mikrodenetleyicisi, 180 MHz hızında çalışan Cortex-M4 çekirdeği, 512 KB Flash bellek ve 128 KB SRAM sunmaktadır. LQFP64 paketinde yer alan bu mikrodenetleyici, gelişmiş dijital ve analog çevre birimleriyle zenginleştirilmiştir. [20]

Kartın üzerinde, kullanıcıların doğrudan etkileşime geçebileceği bir adet kullanıcı, bir adet kullanıcı butonu ve bir adet reset butonu bulunmaktadır. Gerçek zamanlı saat (RTC) ve düşük güç modları için gerekli olan 32.768 kHz kristal osilatör kart üzerinde yer almaktadır. Donanım genişletilebilirliği açısından, NUCLEO-F446RE kartı ARDUINO Uno V3 uyumlu genişleme konektörü ve ST Morpho pin header setleri ile tüm mikrodenetleyici giriş/çıkış (I/O) pinlerine erişim imkânı sağlamaktadır.

Güç beslemesi konusunda kullanıcıya esneklik sunan kart, ST-LINK USB VBUS hattı üzerinden ya da harici 5V veya 3.3V kaynaklar kullanılarak beslenebilir. USB bağlantıları açısından, ST-LINK için Micro-B veya USB Type-C bağlantıları desteklenirken, kullanıcı uygulamalarına yönelik USB Full-Speed (Device/SNK/UFP) fonksiyonları da mevcuttur. Kartın entegre programlayıcısı ST-LINK modülüdür ve bu modül mass storage, Virtual COM port (VCP) ve SWD tabanlı debug fonksiyonlarını desteklemektedir. [20]

NUCLEO-F446RE kartı, STM32Cube ekosistemi kapsamında STM32CubeIDE, IAR Embedded Workbench ve Keil MDK-ARM gibi yaygın geliştirme ortamlarıyla uyumlu şekilde çalışmaktadır. STM32Cube MCU paketleri aracılığıyla geniş sürücü ve örnek proje kütüphaneleri sağlanmakta; bu da kartın tüm donanım kaynaklarının etkin kullanılmasına olanak tanımaktadır. Kart üzerinde bulunan gelişmiş donanım özellikleri arasında belirli modellerde ikinci kullanıcı LED'i, dahili veya harici SMPS (Switched Mode Power Supply) ile Vcore besleme seçeneği, 24 MHz veya 48 MHz harici osilatör seçenekleri, kullanıcıya özel USB Type-C portu, donanımsal kriptografi hızlandırıcıları (AES, SHA, RNG gibi), CAN FD (Flexible Data Rate) transceiver ve harici CAN FD bağlantı başlığı yer almaktadır. Ayrıca, MIPI debug konektörü sayesinde gelişmiş hata ayıklama ve izleme imkânı sunulmaktadır. [20]

Kartın programlama ve hata ayıklama olanakları ST-LINK modülü sayesinde gelişmiş seviyededir. ST-LINK, USB üzerinden hem programlama hem de hata ayıklama işlevlerini yerine getirirken, USB bellek ve sanal seri port (VCP) işlevleriyle de kullanıcıya ek kolaylıklar sunmaktadır. Bu sayede NUCLEO-F446RE kartı, akademik araştırmalardan endüstriyel prototiplemeye kadar geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılabilir. Özellikle gömülü kontrol sistemleri, IoT uygulamaları, robotik ve otomasyon projeleri için güçlü bir geliştirme platformu niteliği taşımaktadır. [20]



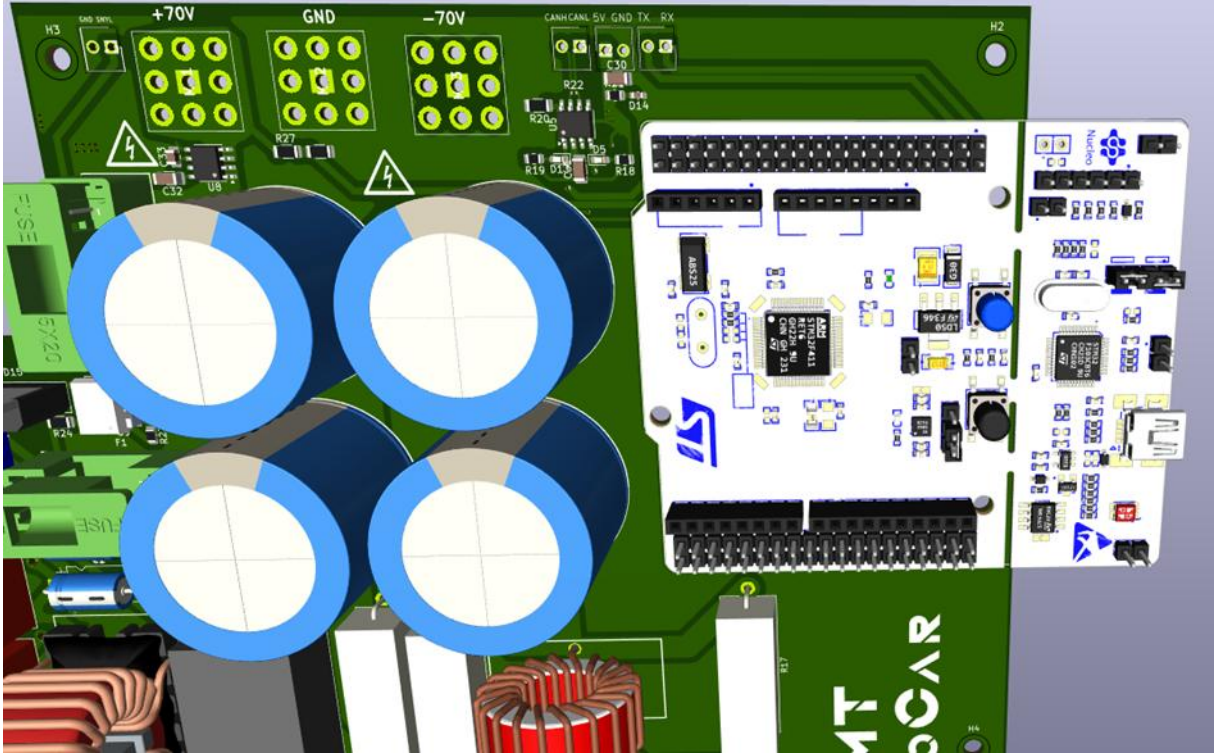
Şekil 3.17: STM32 NUCLEO-F446RE Geliştirme Kartı

3.5.2. Mikroişlemci Kartın Baskı Devre Kartına Entegrasyonu

STM32 NUCLEO-F446RE kartı, özel olarak tasarlanan bir baskı devre kartı üzerine modüller şekilde monte edilmiştir. Bu amaçla kartın konektörlerine denk gelen pinler, 2.54 mm dişi pin yuvaları kullanılarak PCB'ye oturtulmuştur. Bu yöntem sayesinde hem kartlar arasında sağlam bir bağlantı sağlanmış hem de NUCLEO kartındaki tüm giriş/çıkış pinlerine PCB üzerinden kolay erişim mümkün olmuştur.

Kullanılan dişi header'lar, NUCLEO kartının kolayca çıkarılıp tekrar takılmasına imkân tanımış, bu da devrenin hem test hem geliştirme sürecini kolaylaştırmıştır. Ayrıca bu yerleşim yöntemi, PCB üzerindeki sensörler, aktüatörler veya diğer çevre birimleriyle NUCLEO kartının hızlıca haberleşmesine olanak sağlamıştır.

Bu yöntem; modülerlik, kolay montaj ve genişletilebilirlik gibi avantajlar sunarak çalışmanın prototipleme sürecini hızlandırmıştır.



Şekil 3.18: Geliştirme kartının PCB üzerindeki görüntüsü

3.5.3. Fan Kontrol Devresi

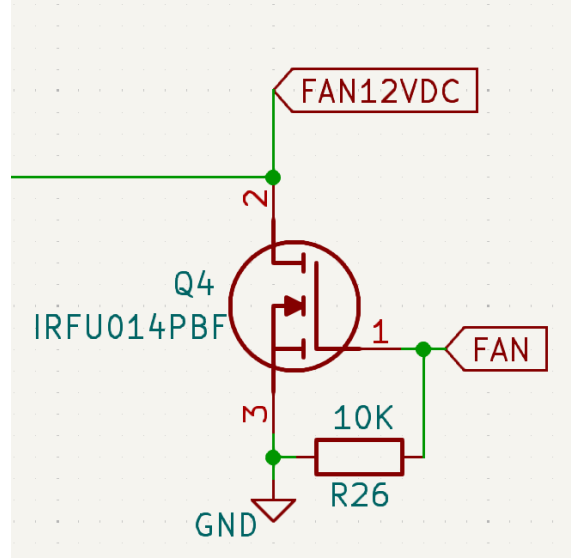
Fan, devremizde kullanılan ETD59 ferrit nüveye sahip transformatörün ve mikrodenetleyici kontrol kartının çalışma sıcaklığını düşürmek amacıyla aktif soğutma elemanı olarak görev yapmaktadır. Kullanılan ETD59 tipi transformatörler, yüksek frekansla çalışma sırasında önemli miktarda ısınmakta ve bu durum, sistemin verimliliğini ve uzun dönemli kararlılığını olumsuz etkileyebilmektedir. Benzer şekilde, mikrodenetleyici kartı üzerinde yer alan işlemci, güç elemanları ve regülatör bileşenlerinin ısı yüklerinin dengelenmesi amacıyla hedeflenen bölgelere yönlendirilmiş hava akışı sağlanmaktadır.

12V DC gerilimle çalışan bir fanın mikrodenetleyici tabanlı bir sistem üzerinden ON/OFF kontrolünün sağlanabilmesi amacıyla MOSFET tabanlı bir sürücü devresi tasarlanmış ve uygulanmıştır. Fanın işletim geriliminin mikrodenetleyicinin çıkış seviyesinden yüksek olması ve çekilen akımın mikrodenetleyici pinlerinin doğrudan sürebileceği sınırları aşması nedeniyle, harici bir anahtarlama elemanına ihtiyaç duyulmuştur. Bu kapsamda, güç elektroniği alanında yaygın olarak kullanılan IRFU014PBF modeli N-kanal MOSFET tercih edilmiştir.

Tasarlanan devrede, fanın pozitif (+) terminali harici 12V güç kaynağına doğrudan bağlanmıştır. Fanın negatif (–) terminali ise MOSFET’in Drain terminaline irtibatlandırılmıştır. MOSFET’in Source terminali, sistem toprağına (GND) bağlanmıştır. Fanın sürülmesi için gerekli anahtarlama sinyali, STM32 mikrodenetleyicisinin PC2 GPIO çıkış pininden sağlanmış ve bu sinyal doğrudan MOSFET’in Gate terminaline uygulanmıştır. [21]

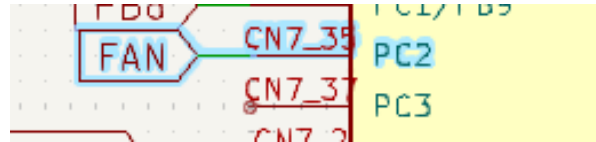
MOSFET’in Gate ve Drain terminalleri arasında 10k Ω değerinde bir direnç bağlanmıştır. Bu direnç, anahtarlama sürecinde MOSFET Gate’inde oluşabilecek istenmeyen parazit sinyallerin önlenmesine katkıda bulunmuş ve MOSFET’in kapanış davranışını iyileştirmiştir. [21]

Özellikle drain terminalinde oluşabilecek ani potansiyel değişimlerinin gate terminaline kontrollü biçimde yansıtılmasını sağlayarak MOSFET'in güvenilir çalışmasını desteklemiştir.



Şekil 3.19: Fan kontrol yuvaları

Devre çalışmasında, PC2 pinine lojik 1 (HIGH) seviyesinde sinyal uygulandığında MOSFET tam iletime geçmekte ve fan çalışmaktadır. PC2 pinine lojik 0 (LOW) uygulandığında ise MOSFET kesime geçmekte ve fan devre dışı kalmaktadır. Bu yapı sayesinde mikrodenetleyici aracılığıyla fanın ON/OFF kontrolü güvenilir, kararlı ve düşük maliyetli bir şekilde sağlanmıştır.



Şekil 3.20: Fan kontrol sinyal pini

Tablo 3.1: Fan Özellikleri.

Özellik	Değer
Fan Modeli	Jamicon JF0625S1H-R
Büyükölük	60*60*25mm
Çalışma Voltajı	12V DC
Çalışma Akımı	0.23A

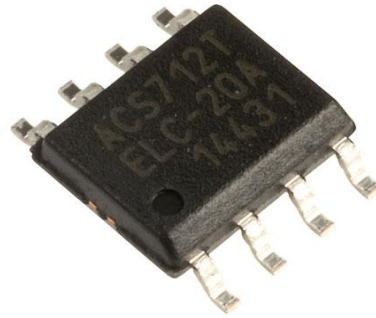


Şekil 3.21: Kullanılan fan

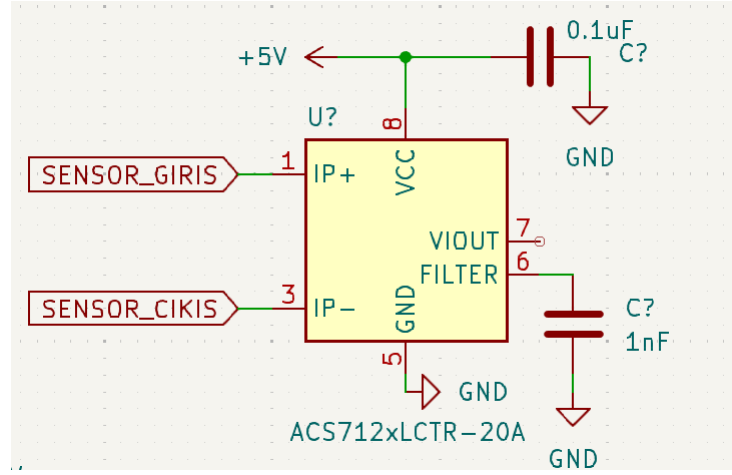
3.5.4. Akım Sensörü ve Akım Ölçümü

ACS712ELCTR-20A-T, ± 20 amper aralığında alternatif ve doğru akım ölçümünü hassas, ekonomik ve güvenli bir şekilde gerçekleştirmek amacıyla tasarlanmış, Hall etkisi tabanlı doğrusal bir akım sensörüdür. [22]

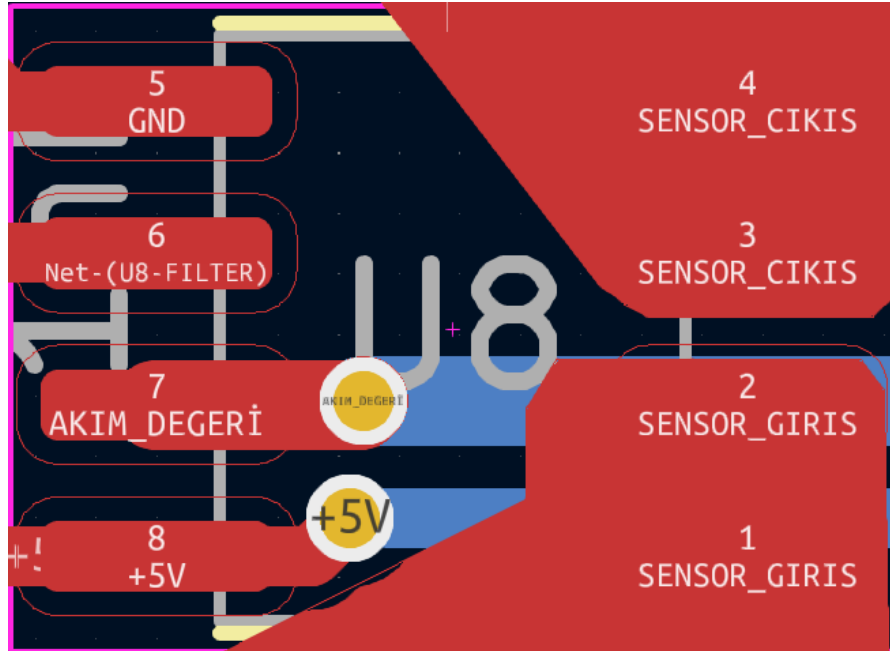
Bu çalışma kapsamında ACS712ELCTR-20A-T modeli, yerleşik şarj birimi tasarımında şarj akımının gerçek zamanlı olarak ölçülmesi amacıyla kullanılmıştır. Geliştirilen güç kaynağı, 220V AC girişten elde edilen doğru akım çıkışı ile batarya şarjını gerçekleştirmektedir. Sensör, şarj devresinde bataryaya uygulanan doğru akımın ölçümünü sağlar ve ürettiği analog çıkış sinyali, bir STM32 mikrodenetleyici kartı üzerindeki ADC girişine aktarılır. STM32 mikrodenetleyici kartı tarafından örneklenen bu veri, sistemde anlık akım bilgisi elde edilmesini mümkün kılar. Ölçülen akım değeri, şarj devresi çıkış gerilimi ile çarpılarak gerçek zamanlı çıkış gücü hesaplanmakta ve sistem performansı bu veriler üzerinden izlenmektedir. Böylece hem şarj sürecinin verimliliği artırılmakta hem de aşırı akım veya anormal durumların tespiti sağlanarak sistem güvenliği temin edilmektedir.



Şekil 3.22: ACS712ELCTR-20A-T



Şekil 3.23: Akım sensörü devresi şematik gösterimi



Şekil 3.24: Akım sensörü ayak izi ve PCB tasarım üzerindeki görüntüsü

Tablo 3.2: Akım sensörü özellikleri.

Parametre	Değer	Açıklama
Çalışma Gerilimi (VCC)	5 V (4.5–5.5 V)	Tek besleme ile çalışır
Çıkış Hassasiyeti	100 mV/A (Tipik)	96–104 mV/A arası değişebilir
Maksimum Akım Ölçüm Aralığı (IP)	±20 A	Çift yönlü akım ölçümü
Sıfır Akım Çıkış Voltajı (VIOU(Q))	2.5 V (VCC/2)	IP = 0 A iken çıkış gerilimi
Toplam Çıkış Hatası (ETOT)	±1.5 %	IP = ±20 A ve 25°C’de
Bant Genişliği	80 kHz	-3 dB noktası, CF = 1 nF iken
Çıkış Yükselme Süresi (tr)	5 µs	Adım akım yanıtında
Dahili Direnç (RPRIMARY)	1.2 mΩ	Bakır iletken yolu direnci
Besleme Akımı (ICC)	10 mA (Tipik)	VCC = 5 V, çıkış açıkken
İzolasyon Gerilimi (VISO)	2.1 kVRMS	Akım yolu ile sinyal pinleri arası

3.5.5. AC Giriş Kontrolü

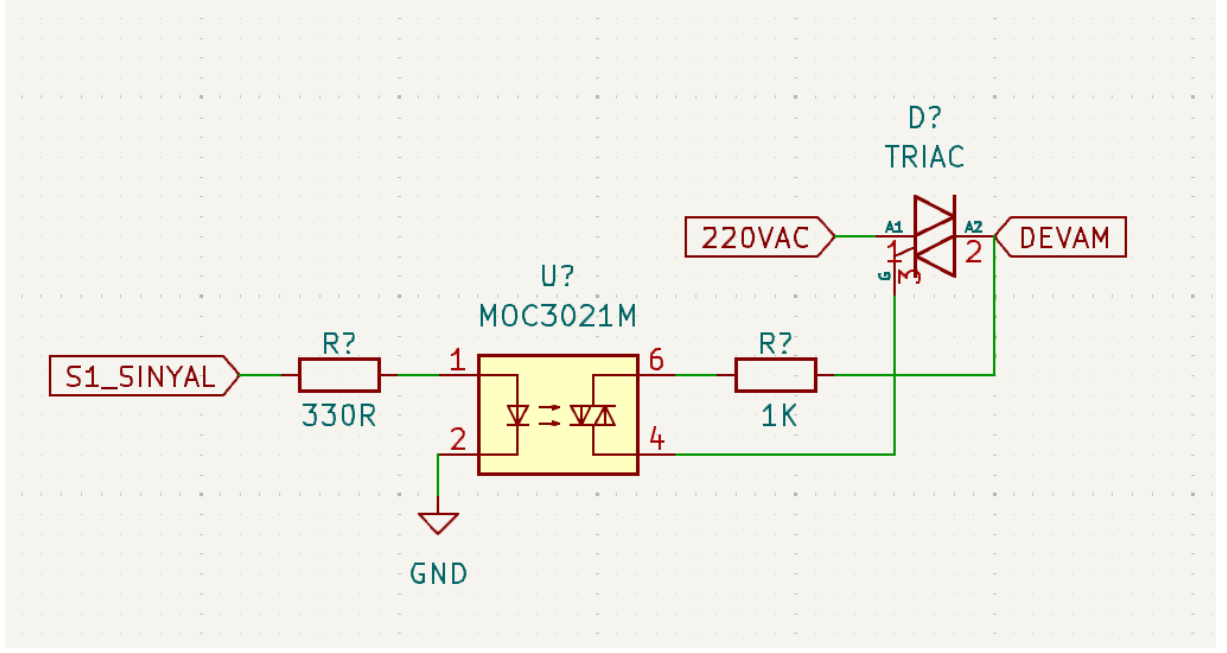
Geliştirilen yerleşik şarj biriminde, şebeke AC girişinin güvenli ve kontrollü bir şekilde kesilmesini sağlayan bir optokuplör-triyak tabanlı anahtarlama devresi tasarlanmıştır. Bu devre, şarj sistemi üzerinde aşırı akım, anormal durum veya kullanım dışı kalma senaryolarında AC giriş hattının kesilmesine olanak tanıyarak, hem sistem güvenliğini artırmakta hem de enerji tasarrufu sağlamaktadır. [24]

Devre yapısı, MOC3021M optokuplör ve bir triyak elemanından oluşmaktadır. Optokuplör, araç kontrol sisteminden gelen dijital tetikleme sinyalini kullanarak yüksek gerilimli AC hattını izole bir şekilde anahtarlama imkanı sunmaktadır. S1_SINYAL hattı, STM32 mikrodenetleyici kartına bağlı araç kontrol ünitesi tarafından üretilmekte olup, sistemin çalışma durumu doğrultusunda 0 V veya lojik 3.3/5 V seviyelerinde olmaktadır.

Optokuplörün giriş tarafında (pin 1 ve 2) bir 330 ohm değerinde akım sınırlayıcı direnç bulunmaktadır. Bu direnç, LED’in güvenli akımla sürülmesini sağlar. Sinyal lojik 1 olduğunda, optokuplör içerisindeki LED iletimde olur ve optokuplörün çıkış tarafındaki fototriyak tetiklenir. [24]

Optokuplör çıkışında yer alan fototriyak, harici bir 1 kΩ seri direnç ile asıl triyak’ın gate ucuna bağlanmaktadır. Bu direnç, gate akımını sınırlandırarak triyak’ın güvenli tetiklenmesini sağlar. triyak 220V AC hattının seri bağlantısında yer almakta ve A1–A2 uçları üzerinden AC akımı iletmektedir. Gate (G) ucu ise optokuplörden gelen tetikleme sinyaline bağlanmıştır.

Sistem çalışmasında, S1_SINYAL aktif hale geldiğinde, optokuplör LED’i iletime geçer, fototriyak tetiklenir ve triyakın gate akımı uygulanır. Böylece triyak anahtarlama yaparak AC hattını iletime açar. S1_SINYAL pasif hale geldiğinde, optokuplör LED’i kapanır, fototriyak ve dolayısıyla triyak tetiklenmez ve AC hattı kesilir.



Şekil 3.25: AC güç anahtarlama ve kontrolü

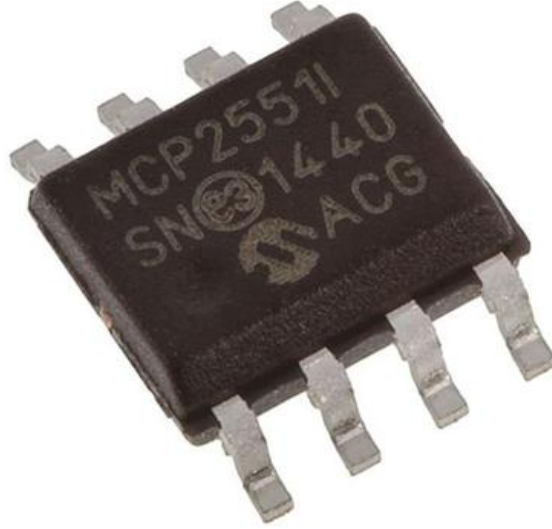
3.5.6. UART Haberleşme

Yerleşik şarj sistemi tasarımında, şarj akışı ve batarya durumlarının güvenli ve etkin yönetimi için Batarya Yönetim Sistemi (BYS) ile STM32 mikrodnetleyici kartı arasında çift yönlü seri haberleşme kurulmuştur. Bu amaçla UART tabanlı haberleşme protokolü tercih edilmiştir. UART, düşük donanım karmaşıklığı ve güvenilir veri aktarımı sağlaması nedeniyle, gömülü sistemler ile harici kontrol modülleri arasındaki veri alışverişinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Söz konusu tasarımda STM32 mikrodnetleyici kartının PC10 ve PC11 pinleri UART arayüzü için atanmıştır. PC10 pini UART_TX (verici), PC11 pini ise UART_RX (alıcı) hattı olarak yapılandırılmıştır. Böylece STM32 mikrodnetleyici kartı, BYS'ye veri gönderebilir ve BYS'den gelen veriyi alabilir. Haberleşme hattı üzerinden bataryanın anlık gerilimi, akımı, sıcaklık bilgileri, şarj durumu ve arıza bildirimleri gibi parametreler aktarılmaktadır. Aynı zamanda STM32, şarj profilleri, limit değerleri ve kontrol komutlarını BYS'ye ileterek şarj sürecini dinamik şekilde yönetir. [20]

3.5.7. CAN Haberleşme

Geliştirilen yerleşik şarj sistemi uygulamasında, sistemin araç kontrol sistemi ile hızlı, güvenilir ve endüstriyel seviyede veri alışverişi yapabilmesi amacıyla CAN protokolü tercih edilmiştir. Özellikle otomotiv ve endüstriyel alanlarda yaygın kullanılan CAN protokolü, çoklu cihazların düşük kablolama karmaşıklığı ile yüksek güvenilirlikte iletişim kurmasını sağlar. Bu amaçla, STM32 mikrodeneleyici kartı ile araç kontrol sistemi arasındaki fiziksel haberleşme katmanının oluşturulmasında MCP2551 CAN dönüştürücü entegresi kullanılmıştır.



Şekil 3.26: CAN dönüştürücü entegresi

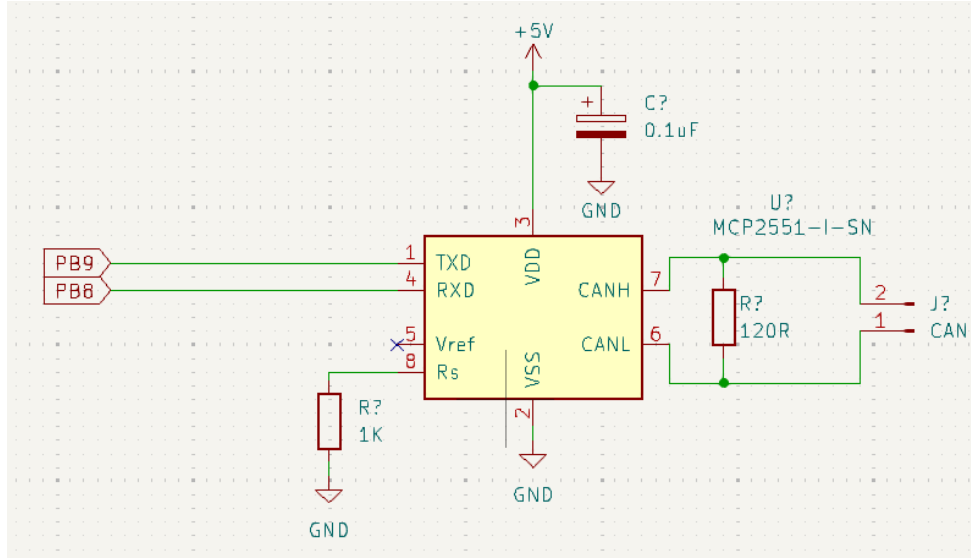
Tablo 3.3: MCP2551 özellikleri.

Parametre	Değer
Çalışma Gerilimi (VDD)	4.5 V – 5.5 V
Maksimum Veri Hızı (Baud Rate)	1 Mbps
Diferansiyel Çıkış Gerilimi (Vdiff)	1.5 V – 3 V
Kısa Devre Akımı (CANH/CANL)	±250 mA
ESD Dayanımı	±4 kV
EMC Uyumluluğu	Düşük EMI
Fail-Safe Özelliği	Var
Termal Koruma (Thermal Shutdown)	Var
Çalışma Sıcaklık Aralığı (TA)	–40°C ile +125°C
Tipik Akım Tüketimi	5 – 15 mA
Paket Tipi	SOIC-8

Tasarımda, STM32 mikrodenetleyici kartının PB9 (CAN_TX) ve PB8 (CAN_RX) pinleri, doğrudan MCP2551 entegresinin TXD ve RXD pinlerine bağlanmıştır. Böylece STM32'nin dahili CAN denetleyicisi, MCP2551 entegresi üzerinden fiziksel CAN veri yoluna erişim sağlamaktadır.

MCP2551 entegresi, 5V besleme gerilimi ile çalışmaktadır. Besleme hattına paralel olarak bağlanan 0.1 μ F baypas kondansatörü, gerilim dalgalanmalarını filtreleyerek entegreyi besleme gürültüsüne karşı korur. Entegrenin CANH ve CANL pinleri, doğrudan araç kontrol sistemi tarafındaki CAN veri yoluna bağlanmaktadır. Bu iki hat arasına yerleştirilen 120 Ω terminasyon direnci, hat empedansını dengeleyerek sinyal yansımasını önler ve haberleşmenin güvenilirliğini artırır. [25]

Ayrıca entegre üzerindeki Rs pini, harici 1 k Ω direnç ile GND'ye çekilmiştir. Bu konfigürasyon, entegredeki (eğim kontrolü) ve dominant hata algılama işlevlerini optimize ederek hat gürültüsüne karşı daha stabil sinyal iletimine katkıda bulunur. [25]



Şekil 3.27: CAN devre şematik tasarımı

3.6. YAZILIM GELİŞTİRME ORTAMI

Bu çalışmada gömülü sistem yazılım geliştirme süreci için STM32 mikrodnetleyici ailesine özel olarak geliştirilen STM32CubeIDE yazılım geliştirme ortamının 1.17.0 sürümü kullanılmıştır. STM32CubeIDE, STMicroelectronics firması tarafından sunulan, bütünleşmiş geliştirme ortamı ve yapılandırma aracı olan STM32CubeMX'i bir arada içeren, C dilinde gömülü sistem geliştirme imkânı sunan bir platformdur [27].

Proje kapsamında kullanılan mikrodnetleyici STM32F446RE modelidir ve bu mikrodnetleyiciyi içeren Nucleo-F446RE geliştirme kartı tercih edilmiştir [26]. STM32CubeIDE içerisindeki STM32CubeMX aracı kullanılarak mikrodnetleyiciye ait çevresel birimler yapılandırılmış ve gerekli pin atamaları grafiksel arayüz üzerinden gerçekleştirilmiştir. Yazılım geliştirme sürecine başlanmadan önce “New STM32 Project” adımıyla yeni bir proje oluşturulmuş ve mikrodnetleyici modeli olarak STM32F446RETx seçilmiştir. Daha sonra “Pinout & Configuration” sekmesi üzerinden donanım yapılandırmaları yapılmıştır [27].

Projede UART, ADC, GPIO, CAN ve I2C çevresel birimleri kullanıldığı için, ilgili birimler aktif hale getirilmiş ve mikrodnetleyicinin pinleri aşağıdaki işlevlere göre yapılandırılmıştır: UART haberleşmesi için PB6 ve PB7 pinleri sırasıyla USART1_TX ve USART1_RX olarak tanımlanmıştır. CAN haberleşmesi için PB8 ve PB9 pinleri CAN1_RX ve CAN1_TX olarak atanmıştır. ADC birimi kullanılarak PA1 (LM35 sıcaklık sensörü [29]), PA4 (voltaj ölçümü) ve PC0 (akım ölçümü) pinleri ADC1 kanalına bağlanmıştır [28]. LCD ekran ile I2C üzerinden iletişim kurmak amacıyla PC4 ve PC5 pinleri sırasıyla I2C1_SCL ve I2C1_SDA olarak belirlenmiştir [31]. GPIO çıkışları ise PA0, PA5 ve PC1 pinlerine atanarak röle, triyak ve fan kontrolü sağlanmıştır.

STM32CubeMX üzerinden yapılandırmalar tamamlandıktan sonra “Project Manager” sekmesinde proje ismi ve klasör yolu belirlenmiş, “STM32CubeIDE” seçilmiştir. Böylece proje CubeIDE ortamında açılmış ve HAL (Hardware Abstraction Layer) kütüphaneleri kullanılarak yazılım geliştirme sürecine geçilmiştir [28]. HAL kütüphaneleri, donanım soyutlama katmanı olarak görev yapmakta ve düşük seviyeli işlemleri geliştiriciye yansıtmadan çevresel birimlerin kullanılmasına olanak tanımaktadır.

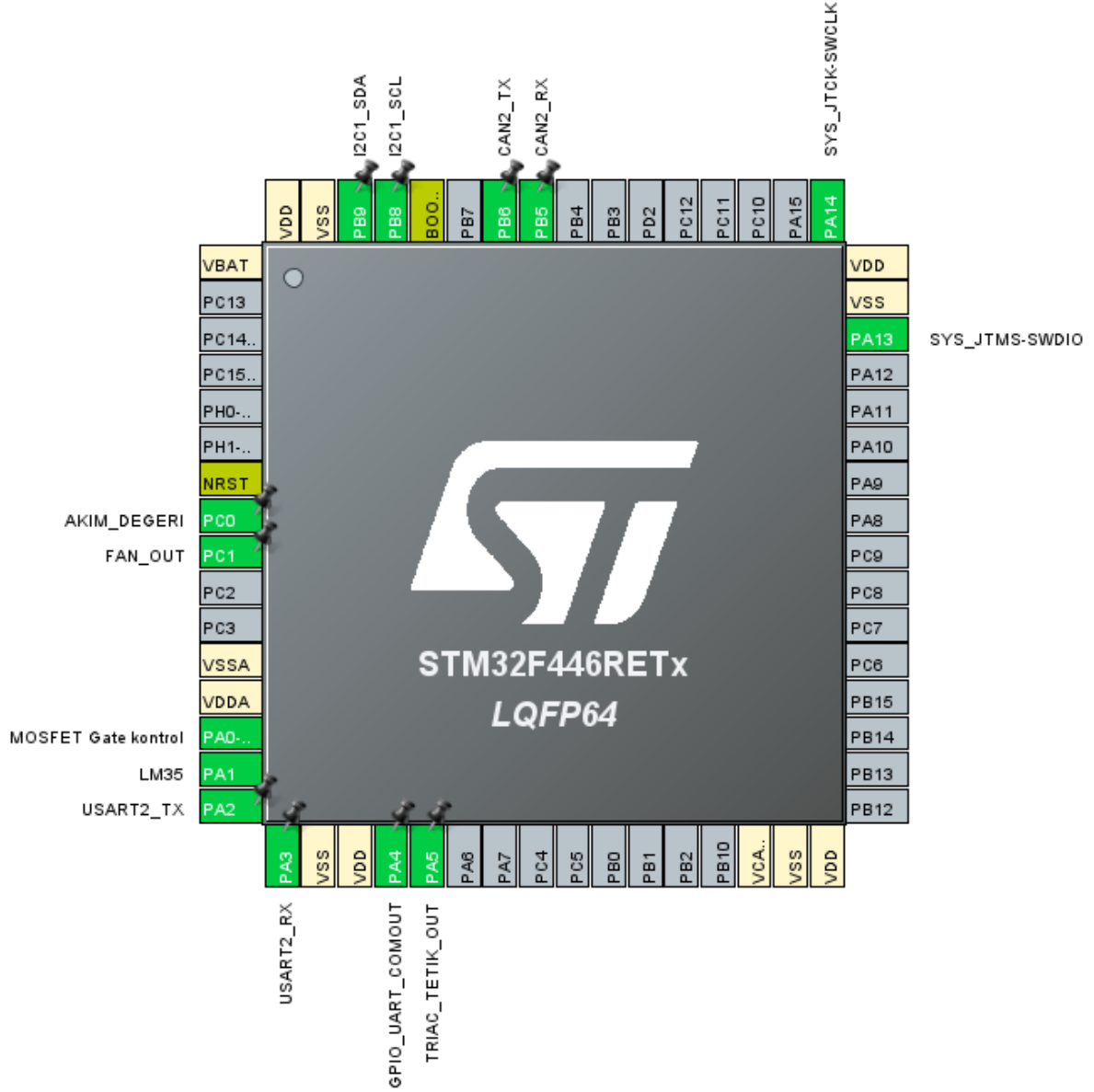
Geliştirilen yazılımın hata ayıklama sürecinde STM32CubeIDE'nin hata ayıklama arayüzü kullanılmıştır [27].

3.6.1. Pin Konfigürasyonu

Projede STM32F446RE Nucleo-64 geliştirme kartı kullanılmıştır [26]. Kart üzerinde UART, ADC, GPIO, CAN ve I2C pinleri yazılımsal olarak yapılandırılmış ve aşağıdaki donanımlara atanmıştır. Aşağıdaki Tablo 3.4'te sistemde kullanılan pin konfigürasyonu özetlenmiştir.

Tablo 3.4: STM32F446RE Pin Konfigürasyonu.

Kullanılan Pinler	Pin İsimlendirme	Açıklama
PA0	MOSFET Gate kontrol	Röle sürme
PA1	LM35	ADC sıcaklık okuma
PA4	GPIO_UART_COMOUT	UART cevabı çıkış yeri
PA2 (USART1_TX)	USART2_TX	UART çıkışı
PA3 (USART1_RX)	USART2_RX	UART girişi
PC0	AKIM_DEGERI	ADC akım okuma
PC1	FAN_OUT	Fan tetikleme GPIO çıkışı
PA5	TRIAC_TETIK_OUT	Triyak tetikleme çıkışı
PB5, PB6	CAN RX/TX	CAN haberleşme
PB8, PB9	I2C SCL/SDA	LCD ekran (QAPASS 1602A)
PA13, PA14	SWDIO/SWCLK	Derleme ve hata ayıklama



Şekil 3.28: STM32F446RE Pin Konfigürasyonu

Şekil 3.28’de pin konfigürasyonunun STM32CUBEIDE programında nasıl gözüktüğü görülmektedir [27].

Bu çalışmada kullanılan STM32F446RE mikrodeneleyicisinin pinleri, sistemin ihtiyaç duyduğu çevresel birimlerin işlevselliğini sağlayacak şekilde dikkatlice yapılandırılmıştır. STM32CubeIDE geliştirme ortamında yer alan STM32CubeMX konfigürasyon aracı sayesinde pinler grafiksel arayüz üzerinden atanmış ve her biri sistemin belirli bir görevini yerine getirecek şekilde programlanmıştır [27]. Aşağıda, Tablo 3.4’te listelenen her bir pinin görevleri ve kullanım gerekçeleri ayrıntılı olarak açıklanmıştır:

PA0 pini, bir güç elemanı olan MOSFET’in gate ucunu sürmek amacıyla dijital çıkış olarak tanımlanmıştır. Bu pin üzerinden sürülen MOSFET, devredeki röle benzeri yükleri açıp kapatarak sistemde enerji kontrolü sağlamaktadır. Röle sürme işlemi, sistemdeki diğer

modüllerin enerjilendirilmesi ya da kesilmesi gerektiği durumlarda temel kontrol mekanizması olarak kullanılmıştır.

PA1 pini, sistemde sıcaklık ölçümünden sorumlu olan LM35 sıcaklık sensörünün analog çıkışına bağlanmıştır. LM35 sensöründen gelen voltaj sinyali sıcaklık ile orantılıdır ve ADC (Analog to Digital Converter) birimi üzerinden dijital verilere dönüştürülmektedir. PA1 pini bu kapsamda ADC1'in IN1 kanalına atanmış olup sıcaklık bilgisinin kesintisiz bir şekilde okunmasını sağlamaktadır [28].

Sistem içerisinde testler sırasında incelenmesi gereken bir voltaj değeri, voltaj bölücü devre aracılığıyla mikrodenetleyicinin tolerans aralığına indirilmiştir. Bu sinyal PA4 pinine yönlendirilerek ADC aracılığıyla ölçülmektedir. PA4 pini, ADC1'in IN4 kanalı olarak tanımlanmış olup, özellikle besleme ya da batarya voltajının izlenmesi amacıyla kullanılmıştır [28].

PA2 ve PA3 pinleri sırasıyla UART veri gönderim ve veri alım işlemleri için USART2 portuna atanmıştır. PA2 pini, mikrodenetleyicinin dış ortama veri iletmesini sağlarken, PA3 pini dış ortamdan gelen seri verileri almaktadır. UART haberleşmesi, sistemin bilgisayar gibi harici cihazlarla doğrudan iletişim kurmasına olanak tanımaktadır [28].

PB5 ve PB6 pinleri, sistemin diğer mikrodenetleyicilerle veri alışverişini gerçekleştirebilmesi amacıyla Controller Area Network (CAN) haberleşme arayüzü için yapılandırılmıştır. PB5 pini, CAN veri hattından gelen mesajları almak için (receive), PB6 pini ise sistemden dış ortama veri göndermek için (transmit) kullanılmıştır. CAN protokolü, özellikle çoklu mikrodenetleyici içeren sistemlerde güvenilir, hızlı ve senkronize iletişim imkânı sunduğundan, bu projede sıcaklık, voltaj ve akım gibi ölçümlerin diğer cihazlarla paylaşılması için tercih edilmiştir. Pin konfigürasyonu, STM32F446RE mikrodenetleyicisinin CAN1 birimi ile uyumlu olacak şekilde STM32CubeMX üzerinden atanmıştır [32].

PB8 ve PB9 pinleri, projede kullanılan QAPASS 1602A LCD ekran ile haberleşme amacıyla I2C protokolü üzerinden yapılandırılmıştır [31]. I2C haberleşmesinde PB8 pini saat hattı (SCL), PB9 pini ise veri hattı (SDA) görevini üstlenmektedir. Bu protokol sayesinde yalnızca iki pin kullanılarak LCD ile çift yönlü veri alışverişi gerçekleştirilmiş ve sistemin ekran üzerinden kullanıcıya bilgi sunması sağlanmıştır. Kullanılan ekran, sıcaklık, voltaj, şarj doluluk oranı ve batarya gücü gibi bilgileri göstermek üzere tasarlanmıştır; PB8 ve PB9 pinleri üzerinden mikrodenetleyiciye entegre edilmiştir.

PC0 pini, sistemdeki akım ölçüm devresinden gelen analog sinyali okumak amacıyla ADC giriş kanalı olarak yapılandırılmıştır. Ölçüm işlemi, bir direnç üzerindeki gerilim düşümünün tespiti yoluyla gerçekleştirilmiş ve bu gerilim sinyali doğrudan PC0 pininden mikrodenetleyiciye aktarılmıştır. PC0 bu nedenle ADC1'in IN10 kanalına atanmıştır [30].

PC1 pini, sıcaklık değerine bağlı olarak devreye giren bir fanın kontrolünü sağlamak üzere dijital çıkış olarak tanımlanmıştır. Sistem belirli bir sıcaklık eşiğini aştığında, PC1 pinine lojik yüksek (HIGH) seviyesi uygulanarak fan devreye alınmakta; sıcaklık normale döndüğünde ise lojik düşük (LOW) seviyesi ile fan devre dışı bırakılmaktadır.

PA5 pini, alternatif akım devrelerini kontrol eden triyak için tetikleme sinyali üretmektedir. Bu pin üzerinden gönderilen kısa süreli dijital darbeler, triyakın iletme geçmesini sağlayarak AC yüklerin kontrolünü mümkün kılmaktadır. Pinin dijital çıkış olarak ayarlanması, sisteme doğrudan AC kontrol kabiliyeti kazandırmaktadır.

PA13 pini, SWDIO (Serial Wire Debug Input/Output) işlevi için kullanılan bir sistem pinidir. ST-Link veya benzeri programlayıcılar ile mikrodnetleyiciye yazılım yüklemek ve hata ayıklamak amacıyla bu pin üzerinden çift yönlü veri iletişimi sağlanır [27]. Bu pin aynı zamanda JTAG arayüzünde JTMS (JTAG Test Mode Select) olarak da kullanılabilir, ancak çoğu modern STM32 geliştirme sürecinde JTAG yerine daha az pin gerektiren SWD tercih edilmektedir. PA13, programlama esnasında mikrodnetleyici ile bilgisayar arasında veri alışverişi yapar ve sistem yazılımının geliştirme sürecinde hayati rol oynar.

PA14 pini, SWCLK (Serial Wire Debug Clock) fonksiyonunu üstlenmektedir. Bu pin üzerinden, programlayıcı cihaz tarafından mikrodnetleyiciye saat sinyali gönderilerek, SWD haberleşme protokolünün senkronizasyonu sağlanır. Aynı zamanda JTAG modunda JTCK (JTAG Test Clock) olarak da görev yapabilir. PA14, SWDIO ile kullanıldığında sistemin programlama ve hata ayıklama işlemleri için gerekli olan en temel iki hattından biridir.

Tüm bu pin yapılandırmaları, sistemin modüler ve kararlı bir şekilde çalışabilmesini sağlayacak şekilde seçilmiştir. Özellikle çevresel birimlerin sayısı göz önünde bulundurularak, mikrodnetleyici üzerindeki pinlerin en verimli biçimde kullanılmasına özen gösterilmiştir.

3.7. UART HABERLEŞME YAZILIMI

Sistemin dış dünyadan veri alması ve kullanıcıya bilgi gönderebilmesi amacıyla UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) haberleşme protokolü kullanılmıştır. STM32F446RE mikrodnetleyicisinin USART2 birimi tercih edilmiş olup, UART haberleşme PA2 (TX) ve PA3 (RX) pinleri üzerinden gerçekleştirilmiştir [26]. UART haberleşmesi, HAL kütüphanesi fonksiyonları aracılığıyla yapılandırılmış ve yazılım içerisinde hem veri alımı hem de veri gönderimi gerçekleştirilmiştir [28].

UART yapılandırması aşağıdaki parametrelerle gerçekleştirilmiştir [28]:

- Baud Hızı: 115200 bps
- Veri Uzunluğu: 8 bit
- Durdurma Biti: 1 bit
- Parite: Yok
- Donanımsal akış kontrolü: Yok
- Çalışma modu: Alıcı ve verici (TX/RX)

UART haberleşmesinin sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi için, mikrodnetleyici üzerindeki ilgili UART biriminin donanımsal parametrelerle doğru bir şekilde yapılandırılması gerekmektedir. Bu yapılandırma işlemi, HAL kütüphanesi içerisinde yer alan MX_USART2_UART_Init() fonksiyonu ile gerçekleştirilmiştir [28].

```

382 static void MX_USART2_UART_Init(void)
383 {
384
385     /* USER CODE BEGIN USART2_Init 0 */
386
387     /* USER CODE END USART2_Init 0 */
388
389     /* USER CODE BEGIN USART2_Init 1 */
390
391     /* USER CODE END USART2_Init 1 */
392     huart2.Instance = USART2;
393     huart2.Init.BaudRate = 115200;
394     huart2.Init.WordLength = UART_WORDLENGTH_8B;
395     huart2.Init.StopBits = UART_STOPBITS_1;
396     huart2.Init.Parity = UART_PARITY_NONE;
397     huart2.Init.Mode = UART_MODE_TX_RX;
398     huart2.Init.HwFlowCtl = UART_HWCONTROL_NONE;
399     huart2.Init.OverSampling = UART_OVERSAMPLING_16;
400     if (HAL_UART_Init(&huart2) != HAL_OK)
401     {
402         Error_Handler();
403     }
404     /* USER CODE BEGIN USART2_Init 2 */
405
406     /* USER CODE END USART2_Init 2 */
407
408 }

```

Şekil 3.29: UART Haberleşme ayarları

Şekil 3.29'daki fonksiyon, mikrodenetleyici üzerindeki USART2 birimini içerisindeki ayarlarla haberleşmeye hazır hâle getirmeye yarıyor.

Bu parametrelerin işlevleri aşağıdaki gibidir:

- BaudRate (115200): UART haberleşme hızı saniyede 115200 bit olarak ayarlanmıştır. Bu değer, sistemin hızlı ve stabil haberleşme yapabilmesini sağlar.
- WordLength (8 bit): UART çerçevesinde gönderilecek veri uzunluğu 8 bit olarak belirlenmiştir. Bu, standart UART haberleşmesinde yaygın olarak kullanılan formattır.
- StopBits (1 bit): Her veri paketinden sonra bir bitlik durdurma işareti konularak çerçevenin sonu belirtilir.
- Parity (None): Veri iletiminde parite kontrolü kullanılmamış, dolayısıyla hata kontrolü yapılmamıştır. Bu durum basit ve hızlı haberleşme gereksinimleri için yeterlidir.
- Mode (TX_RX): UART birimi hem gönderme (transmit) hem de alma (receive) modlarında çalışacak şekilde yapılandırılmıştır.
- HwFlowCtl (None): Donanımsal akış kontrolü (RTS/CTS pinleri) devre dışı bırakılmıştır.

- OverSampling (16x): Örnekleme oranı 16 olarak belirlenmiş, bu da her veri bitinin 16 kez örneklenerek daha güvenilir veri okuma yapılmasını sağlar.

Tüm bu yapılandırmalar tamamlandıktan sonra HAL_UART_Init(&huart2) fonksiyonu çağrılarak yapılandırma aktif hâle getirilmiş ve USART2 haberleşmeye hazır hâle getirilmiştir [28]. Fonksiyon içinde yer alan Error_Handler() çağrısı, herhangi bir yapılandırma hatasında sistemin güvenli duruma geçmesini sağlamak amacıyla kullanılmıştır.

Bu yapılandırma sayesinde UART birimi hem yazılım içinden veri gönderme hem de kesme veri alma işlemleri için hazır duruma getirilmiştir.

```
158 while (1)
159 {
160     HAL_UART_Transmit(&huart2, (uint8_t*)"UART Test\r\n", strlen("UART Test\r\n"), HAL_MAX_DELAY);
161 }
```

Şekil 3.30: UART bağlantı kontrol

main() fonksiyonunun içinde sürekli döngüde yer alan HAL_UART_Transmit() fonksiyonu ile belirli aralıklarla "UART Test\r\n" mesajı seri porta gönderilmiştir. Bu işlem sayesinde sistemin UART üzerinden düzenli bir şekilde veri gönderdiği gözlemlenebilmiş ve dış dünya ile bağlantı kurulmuştur. Bu gönderim fonksiyonu, UART arayüzünün doğru yapılandırıldığını ve mikrodenetleyicinin iletim işlevini yerine getirdiğini test etmek için kullanılmıştır.

UART haberleşmesi yalnızca veri gönderimi amacıyla değil, aynı zamanda dış ortamdan alınan komutlara göre sistemdeki dijital çıkışları kontrol etmek amacıyla da kullanılmıştır. Bu amaçla UART birimi, kesme tabanlı olarak yapılandırılmış ve her karakter alımı sonrasında bir fonksiyon çalıştırması sağlanmıştır.

```
// UART işlemleri //
uint8_t rxTemBuf[1]; // Her karakteri tek tek alma buffer'ı
uint8_t rxData;
```

Şekil 3.31: UART için kullanılan değişkenler

rxTemBuf dizisi, HAL_UART_Receive_IT fonksiyonu tarafından alınan her bir karakteri geçici olarak tutmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu karakter daha sonra rxData adlı değişkene aktarılmakta ve fonksiyon içerisinde kullanılmaktadır.

Kesme ile veri alımı, HAL_UART_RxCpltCallback fonksiyonu içinde gerçekleştirilmiştir [28].

```

33 void HAL_UART_RxCpltCallback(UART_HandleTypeDef *huart){
34
35     if (huart->Instance == USART2) {
36         rxData = rxTempBuf[0];
37
38         if (rxData == '+') {
39             HAL_GPIO_WritePin(GPIO_UART_COMOUT_GPIO_Port, GPIO_UART_COMOUT_Pin, GPIO_PIN_SET); // Triyak açilsin
40         }
41
42         else if (rxData == '-') {
43             HAL_GPIO_WritePin(GPIO_UART_COMOUT_GPIO_Port, GPIO_UART_COMOUT_Pin, GPIO_PIN_RESET); // Triyak kapansin
44         }
45
46         HAL_UART_Receive_IT(&huart2, rxTempBuf, 1);
47     }
48 }
49
50
51

```

Şekil 3.32: HAL_UART_RxCpltCallback fonksiyonu

Şekil 3.32’deki fonksiyon, mikrodnetleyici USART2 portu üzerinden bir karakter aldığında otomatik olarak çalışmaktadır. Fonksiyonun içeriği aşağıdaki adımlarla açıklanabilir:

- huart->Instance == USART2 kontrolü ile kesmenin gerçekten USART2 üzerinden alındığı doğrulanmaktadır.
- rxTempBuf[0] ifadesi ile alınan karakter rxData değişkenine aktarılmaktadır.
- Alınan karakter:
 - ‘+’ ise, HAL_GPIO_WritePin() fonksiyonu aracılığıyla sistemde tanımlı çıkış pini olan GPIO_UART_COMOUT lojik HIGH seviyesine çekilmekte ve bu sayede triyak tetiklenmektedir.
 - ‘-’ ise aynı pini olan GPIO_UART_COMOUT lojik LOW seviyesine çekilmekte ve triyak kapanmaktadır.
- Fonksiyonun sonunda tekrar HAL_UART_Receive_IT() çağrılarak UART alımı yeniden başlatılmakta ve sistemin kesintisiz bir şekilde veri dinlemesi sağlanmaktadır.

Bu yapı sayesinde kullanıcı, UART üzerinden sistemle etkileşime geçebilmekte ve basit karakterler aracılığıyla röle, triyak gibi donanım elemanlarını doğrudan kontrol edebilmektedir. Bu durum, sistemin uzaktan kontrol kabiliyetine sahip olmasını sağlamakta ve gerçek zamanlı müdahalelere olanak tanımaktadır.

3.8. CAN HABERLEŞME YAZILIMI

Mikrodnetleyici sistemleri arasında güvenilir, hızlı ve çoklu cihaz destekli bir iletişim sağlamak amacıyla Controller Area Network (CAN) protokolü kullanılmıştır. STM32F446RE mikrodnetleyicisi üzerinde yer alan CAN2 birimi yapılandırılmış ve PB5 (CAN_RX) ile PB6 (CAN_TX) pinleri üzerinden haberleşme gerçekleştirilmiştir [26], [28].

CAN haberleşmesi, özellikle birden fazla cihazın birbirine veri gönderebildiği ve veri çarpışmalarının önüne geçilebildiği sistemlerde tercih edilmektedir. Bu çalışmada, dış ortamdan gelen voltaj bilgisinin alınması ve sistem içinde kullanılabilmesi amacıyla CAN haberleşmesi kesme tabanlı olarak yapılandırılmıştır [32].

CAN haberleşmesinde ilk adım, mesajların alımını kontrol etmek üzere filtre konfigürasyonunun yapılmasıdır. Projede, tüm ID'leri kabul edecek şekilde geniş bir maskeleme kullanılmış ve filtreleme parametreleri STM32 HAL kütüphanesi aracılığıyla tanımlanmıştır [28].

```
CAN_FilterTypeDef canfil;

canfil.FilterActivation = ENABLE;
canfil.FilterBank = 0;
canfil.FilterFIFOAssignment = CAN_FILTER_FIFO0;
canfil.FilterIdHigh = 0x0000;
canfil.FilterIdLow = 0x0000;
canfil.FilterMaskIdHigh = 0x0000;
canfil.FilterMaskIdLow = 0x0000;
canfil.FilterMode = CAN_FILTERMODE_IDMASK;
canfil.FilterScale = CAN_FILTERSCALE_32BIT;

HAL_CAN_ConfigFilter(&hcan2, &canfil);
HAL_CAN_Start(&hcan2);
HAL_CAN_ActivateNotification(&hcan2, CAN_IT_RX_FIFO0_MSG_PENDING);
```

Şekil 3.33: CAN Parametreleri

Şekil 3.33'teki ayarlarda, filtre maskelemesi ile tüm gelen mesajlara izin verilmiş, böylece sistemin başlangıç aşamasında farklı ID'leri tanıyabilmesi sağlanmıştır. Filtre ayarı tamamlandıktan sonra, CAN haberleşmesi HAL_CAN_ConfigFilter(), HAL_CAN_Start(), HAL_CAN_ActivateNotification() fonksiyonlarıyla başlatılmıştır. Bu satırlar ile CAN2 birimi çalıştırılmış ve gelen her yeni mesaj için kesme üretimi etkinleştirilmiştir [28].

```
/* USER CODE BEGIN 4 */
void HAL_CAN_RxFifo0MsgPendingCallback(CAN_HandleTypeDef *hcan)
{
    CAN_RxHeaderTypeDef rxHeader;
    uint8_t rxData2[8];

    if (HAL_CAN_GetRxMessage(hcan, CAN_RX_FIFO0, &rxHeader, rxData) == HAL_OK)
    {
        if (rxHeader.StdId == 0x123) // Voltaj bilgisinin geldiği ID
        {
            uint16_t voltaj_raw = (rxData2[0] << 8) | rxData2[1]; // 2 baytlık veri
            gelen_voltaj = (voltaj_raw * 3.3f) / 4095.0f; // ADC çözünürlüğü ile gerilime dönüşüm
        }
    }
}
```

Şekil 3.34: HAL_CAN_RxFifo0MsgPendingCallback() fonksiyonu

Kesme meydana geldiğinde şekil 3.34'teki HAL_CAN_RxFifo0MsgPendingCallback() fonksiyonu otomatik olarak çalıştırılmaktadır. Bu fonksiyon içerisinde, CAN FIFO0 tamponundan alınan veri değerlendirilmiş ve eğer mesaj belirlenen ID'ye aitse, içerdiği voltaj bilgisi yorumlanarak bir değişkene aktarılmıştır.

Bu yapı içerisinde:

- rxData[0] ve rxData[1] ile 2 baytlık veri alınmış,
- Bu veriler birleştirilerek uint16_t türünde ham ADC değeri oluşturulmuş,
- 12 bit ADC çözünürlüğü baz alınarak bu değer 0–3.3V aralığında gerilime çevrilmiş,
- Sonuç, gelen_voltaj isimli float tipinde bir değişkende saklanmıştır.

Sistem bu şekilde, dış ortamdan gelen analog voltaj bilgisini dijital olarak alıp işleyebilmekte ve bu bilgiyi sistem içinde ekran göstergesi, güvenlik sınırı kontrolü gibi farklı amaçlarla kullanabilmektedir [31], [32].

CAN haberleşmesi kesme tabanlı olarak yapılandırıldığı için kod herhangi bir döngü içerisinde aktif bekleme yapmamaktadır. Yeni bir veri geldiği anda kesme oluşmakta ve sistem veri işleme işlemini sadece bu anda gerçekleştirmektedir. Bu yaklaşım, işlemci kaynaklarının verimli kullanılmasına olanak tanımakta ve gerçek zamanlı çalışma için uygun bir çözüm sunmaktadır [32].

3.9. ADC OKUMA

Sıcaklık, akım ve gerilim gibi analog sinyallerin ölçülerek dijital sisteme aktarılması amacıyla STM32F446RE mikrodeneleyicisinin ADC1 (Analog to Digital Converter) birimi kullanılmıştır [26]. Analog sinyaller, mikrodeneleyiciye bağlı olan sensörlerden alınmakta ve ADC birimi aracılığıyla dijital değerlere dönüştürülmektedir [28].

STM32 ADC modülü, çok kanallı giriş desteğine ve DMA (Direct Memory Access) ile veri aktarımı özelliğine sahip olup, her iki özellik aktif şekilde kullanılmıştır [28]. ADC üzerinden eş zamanlı olarak üç farklı analog kanal okunmuş ve veriler ayrı değişkenler içerisinde saklanmıştır.

3.9.1. ADC Yapılandırması

ADC yapılandırması MX_ADC1_Init() fonksiyonu içerisinde yapılmıştır. Burada kullanılan ayarlar aşağıda açıklanmıştır [28]:

- Çözünürlük: 12 bit – Bu sayede ADC çıkışı 0 ile 4095 arasında dijital bir değer üretmektedir.
- Tarama modu (Scan Mode): Aktif – Birden fazla kanal sırasıyla okunabilmektedir.
- Sürekli dönüşüm (Continuous Mode): Aktif – ADC sürekli olarak ölçüm yapmaktadır.
- DMA Kullanımı: Aktif – ADC sonucu doğrudan bellek dizisine aktarılmaktadır.
- Dönüştürülecek kanal sayısı: 3 – Projede üç farklı analog sinyal ölçülmektedir.

Kanal konfigürasyonları şu şekildedir:

- ADC_CHANNEL_0 (Rank 1): MOSFET çıkış gerilimi
- ADC_CHANNEL_1 (Rank 2): LM35 sıcaklık sensörü çıkışı
- ADC_CHANNEL_10 (Rank 3): Akım sensörü çıkışı

3.9.2. DMA ile ADC Başlatma

```
int main(void)
{
    /* USER CODE BEGIN 1 */

    /* USER CODE END 1 */

    /* MCU Configuration-----*/

    /* Reset of all peripherals, Initializes the Flash interface and the Systick. */
    HAL_Init();

    /* USER CODE BEGIN Init */

    /* USER CODE END Init */

    /* Configure the system clock */
    SystemClock_Config();

    /* USER CODE BEGIN SysInit */

    /* USER CODE END SysInit */

    /* Initialize all configured peripherals */
    MX_GPIO_Init();
    MX_DMA_Init();
    MX_ADC1_Init();
    MX_USART2_UART_Init();
    MX_I2C1_Init();
    MX_CAN2_Init();
    /* USER CODE BEGIN 2 */
    HAL_ADC_Start_DMA(&hadc1, (uint32_t*)data , 3);
    HD44780_Init(2);
}
```

Şekil 3.35: HAL_ADC_Start_DMA() kullanıldığı satır

ADC işlemi, main() fonksiyonu içinde HAL_ADC_Start_DMA() fonksiyonu ile başlatılmıştır [28].

Bu satır ile ADC1 birimi, DMA yardımıyla data isimli diziye üç kanal için sürekli ölçüm sonucu yazmaktadır. data[0], data[1] ve data[2] sırasıyla MOSFET çıkışı, sıcaklık ve akım bilgilerini içermektedir.

3.9.3. ADC Dönüşüm Tamamlandığında Veri İşleme

```
uint32_t mos, akim, lmtemp; // ADC'den gelen verileri saklayan dizi
uint32_t temperature;
uint32_t data[3];
float gelen_voltaj = 0.0;

void HAL_ADC_ConvCpltCallback(ADC_HandleTypeDef* hadc){

    if(hadc -> Instance == ADC1){
        mos = data[0];
        lmtemp = data[1];
        akim = data[2];
        temperature = ((data[1] * 3.3) / 4095.0) * 100; // Örnek bir dönüşüm (mV -> °C)
    }
}
```

Şekil 3.36: ADC kesme fonksiyonu

ADC okuması tamamlandığında HAL kütüphanesine ait HAL_ADC_ConvCpltCallback() isimli callback fonksiyonu otomatik olarak tetiklenmektedir. Bu fonksiyon içerisinde alınan veriler şekil 3.36’da görüldüğü gibi işlenmiştir.

- data[0] → mos: MOSFET gerilimi
- data[1] → lmtemp: LM35 sıcaklık sensörünün ADC değeri
- data[2] → akim: Akım sensörünün ADC değeri
- “temperature” isimli değişken ise sensörden gelen mV değerini Celcius birimine dönüştüren bir matematiksel ifadenin sonucudur.

3.9.4. ADC Kullanımının Sistem İçindeki Önemi

ADC ile elde edilen sıcaklık, akım ve gerilim değerleri, sistemin durumu hakkında bilgi sağlamak ve belirli eşik değerlerinin aşılp aşılmadığını kontrol etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu değerler aynı zamanda LCD ekran aracılığıyla kullanıcıya görsel olarak sunulmakta ve gerektiğinde röle, fan ya da triyak gibi çıkış birimlerinin kontrolüne temel girdi sağlamaktadır [31].

3.10. GPIO ÇIKIŞLARI

STM32F446RE mikrodeneleyicisinin GPIO (General Purpose Input/Output) pinleri kullanarak sistemdeki çeşitli donanım elemanlarının kontrolü sağlanmıştır [26], [28]. GPIO pinleri, mikrodeneleyicinin dış dünya ile fiziksel etkileşim kurmasına olanak tanıyan temel yapılardır. GPIO çıkışları, özellikle triyak tetikleme, fan kontrolü ve UART üzerinden gelen komutlara yanıt olarak çıkış değiştirme gibi görevlerde kullanılmıştır [28].

3.10.1. GPIO Pin Konfigürasyonu

```
446 static void MX_GPIO_Init(void)
447 {
448     GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStruct = {0};
449     /* USER CODE BEGIN MX_GPIO_Init_1 */
450     /* USER CODE END MX_GPIO_Init_1 */
451
452     /* GPIO Ports Clock Enable */
453     __HAL_RCC_GPIOC_CLK_ENABLE();
454     __HAL_RCC_GPIOA_CLK_ENABLE();
455     __HAL_RCC_GPIOB_CLK_ENABLE();
456
457     /*Configure GPIO pin Output Level */
458     HAL_GPIO_WritePin(FAN_OUT_GPIO_Port, FAN_OUT_Pin, GPIO_PIN_RESET);
459
460     /*Configure GPIO pin Output Level */
461     HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_UART_COMOUT_Pin|TRIAC_TETIK_OUT_Pin, GPIO_PIN_RESET);
462
463     /*Configure GPIO pin : FAN_OUT Pin */
464     GPIO_InitStruct.Pin = FAN_OUT_Pin;
465     GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;
466     GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
467     GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_LOW;
468     HAL_GPIO_Init(FAN_OUT_GPIO_Port, &GPIO_InitStruct);
469
470     /*Configure GPIO pins : GPIO_UART_COMOUT_Pin TRIAC_TETIK_OUT_Pin */
471     GPIO_InitStruct.Pin = GPIO_UART_COMOUT_Pin|TRIAC_TETIK_OUT_Pin;
472     GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;
473     GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
474     GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_LOW;
475     HAL_GPIO_Init(GPIOA, &GPIO_InitStruct);
476
477     /* USER CODE BEGIN MX_GPIO_Init_2 */
478     /* USER CODE END MX_GPIO_Init_2 */
479 }
```

Şekil 3.37: MX_GPIO_Init() fonksiyonu

GPIO pinlerinin yapılandırılması MX_GPIO_Init() fonksiyonu içerisinde gerçekleştirilmiştir. Bu fonksiyon, her bir pinin modunu, çıkış seviyesini ve hızını belirlemekte kullanılır [28]. Şekil 3.37’de görüldüğü üzere Tablo 3.4’te belirtilen pinler çıkış olarak yapılandırılmıştır.

Bu yapılandırma sonucunda GPIO_MODE_OUTPUT_PP (push-pull) modunda çalışan pinler, dijital olarak 1 (HIGH) veya 0 (LOW) seviyesine çekilerek dış devre elemanları tetiklenebilmektedir.

3.10.2. UART Üzerinden GPIO Kontrolü

Şekil 3.32’de görüleceği üzere UART üzerinden gelen karaktere bağlı olarak triyak kontrolü gerçekleştirilmiştir. HAL_UART_RxCpltCallback() fonksiyonu içinde, alınan veri "+" veya "-" karakterine göre değerlendirilmekte ve GPIO_UART_COMOUT pinine çıkış seviyesi atanarak triyak açılıp kapanmaktadır [28].

3.10.3. Fan ve Yük Kontrolü

FAN_OUT_Pin isimli GPIO çıkışı, sistemdeki sıcaklık ölçümüne veya enerji yönetimine bağlı olarak fan ya da yük sürücüsü kontrolü için yapılandırılmıştır. Bu pin, ilerleyen bölümlerde ADC veya CAN üzerinden gelen değerlere bağlı olarak kontrol edilecek şekilde genişletilmeye açıktır [28], [32].

3.10.4. GPIO Kullanımının Sistem Entegrasyonundaki Önemi

GPIO çıkışları, devre kartındaki fiziksel yüklerin (triyak, fan, röle vb.) doğrudan kontrolünü sağlamaktadır. Bu kontrol sayesinde sensörlerden alınan veriler, mantıksal koşullara göre işlenip fiziksel çıktılara dönüştürülmektedir. Projenin enerji yönetimi, güvenlik ve kullanıcı etkileşimi açısından kararlı çalışabilmesi için GPIO kontrolü kritik öneme sahiptir.

3.11. LCD EKRAN KULLANIMI

Sistemden elde edilen sıcaklık, voltaj, güç ve batarya durumu gibi değerlerin kullanıcıya görsel olarak sunulması amacıyla LCD (Liquid Crystal Display) ekran kullanılmıştır. Görsel arabirim olarak, QAPASS 1602A model LCD ekran ve bu ekranın mikrodenetleyici ile kolay haberleşmesini sağlayan I2C (Inter-Integrated Circuit) modülü birlikte kullanılmıştır [31], [33].

3.11.1. Kullanılan Malzeme: QAPASS 1602A LCD

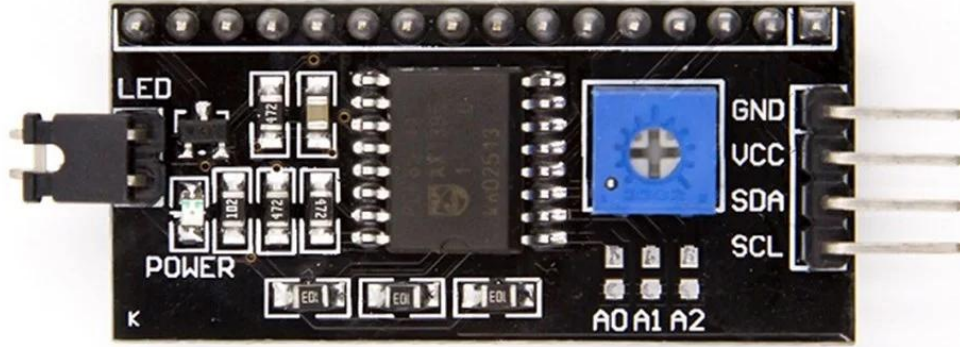


Şekil 3.38: QAPASS 1602A 2x16 lik LCD led

QAPASS 1602A, 16 sütun ve 2 satırdan oluşan, karakter tabanlı bir LCD ekrandır [31]. Ekran, 8-bit veya 4-bit paralel iletişim modlarıyla kullanılabilmesine rağmen bu projede I2C haberleşme protokolü kullanılarak daha az pin ile kontrol edilmesi tercih edilmiştir. Ekranda,

5x8 nokta matrisiyle oluşturulan ASCII karakterler görüntülenebilir. Arka ışığı sayesinde karanlık ortamlarda da okunabilirlik sunmaktadır.

3.11.2. I2C-Arayüz Modülü



Şekil 3.39: I2C modülü

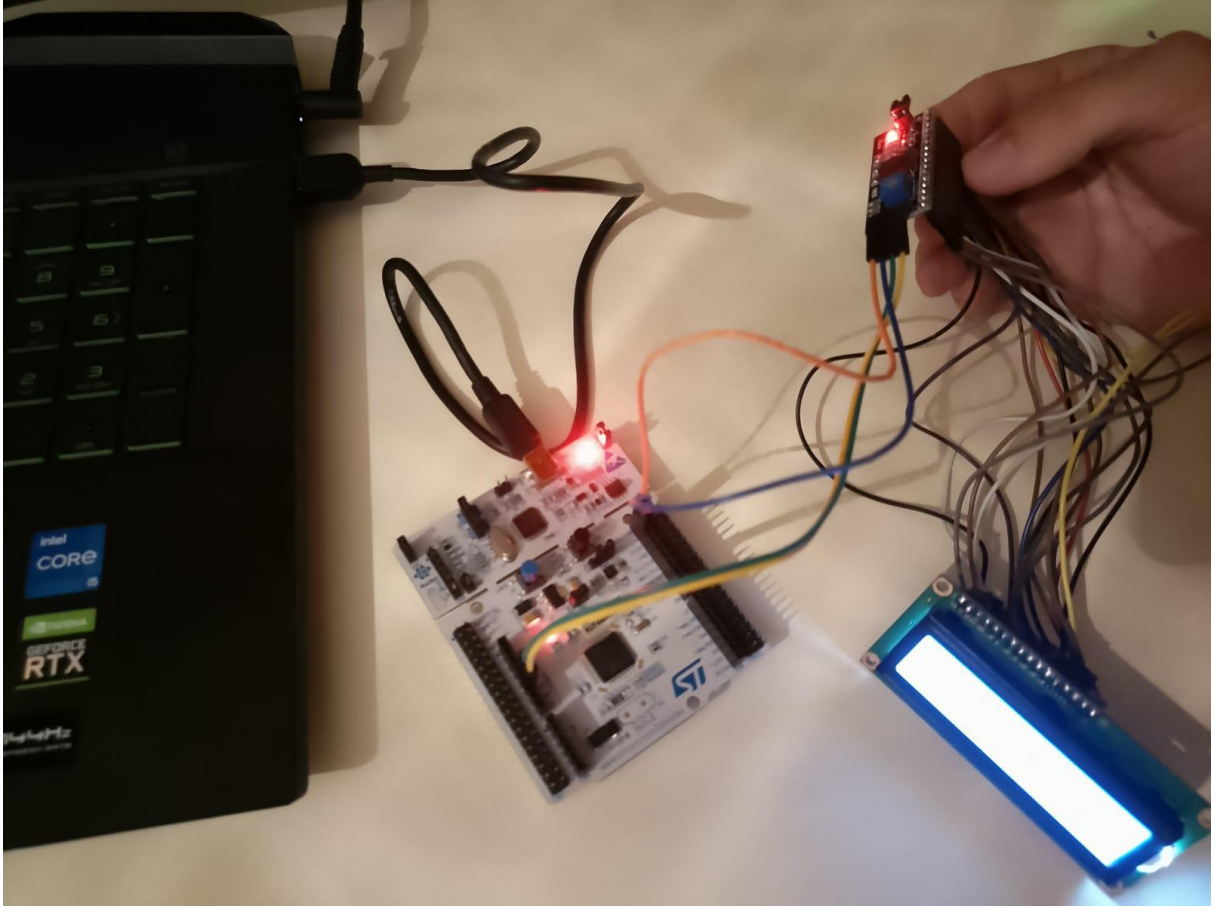
LCD ekranın mikrodenetleyici ile iletişimi, üzerinde PCF8574 entegresi bulunan I2C modülü aracılığıyla gerçekleştirilmiştir [33]. Bu modül, LCD'nin paralel veri girişlerini I2C'ye çevirerek mikrodenetleyicinin sadece iki pin (SCL ve SDA) kullanarak ekranı kontrol etmesine olanak tanır. Bu sayede hem devre karmaşıklığı azaltılmış hem de GPIO pin tasarrufu sağlanmıştır.

3.11.3. Donanımsal Bağlantılar

QAPASS 1602A ekranın I2C modülü ile STM32F446RE mikrodenetleyiciye bağlantısı Tablo 3.5'te gösterilmektedir:

Tablo 3.5: I2C modül ile STM pin bağlantıları.

I2C Modülü Pini	STM Pini	Açıklama
VCC	5V	Güç beslemesi
GND	GND	Toprak bağlantısı
SDA	PB9	I2C veri hattı
SCL	PB8	I2C saat sinyali hattı



Şekil 3.40: LCD ekran, modül ve STM bağlantıları

Şekil 3.40'ta yapılan bağlantılar sayesinde ekran, I2C1 haberleşme birimi üzerinden sürülmektedir [26], [31].

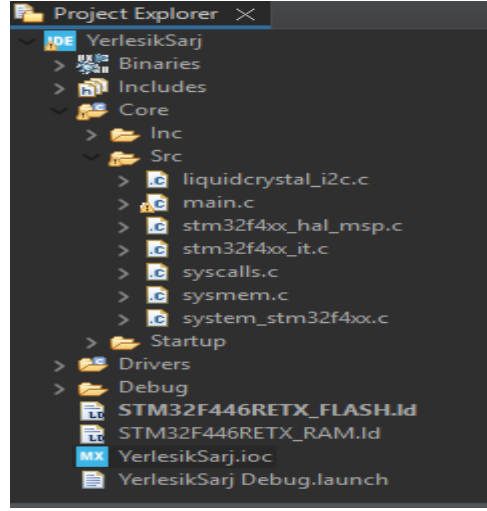
3.11.4. Yazılımsal Tanımlama ve Kütüphane Kullanımı

LCD ekranın kontrolü için LiquidCrystal_I2C isimli açık kaynak bir kütüphane kullanılmıştır. Bu kütüphane ile ekranın satır-sütun kontrolü, yazı yazma, temizleme ve imleç ayarları gibi işlemler kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir.

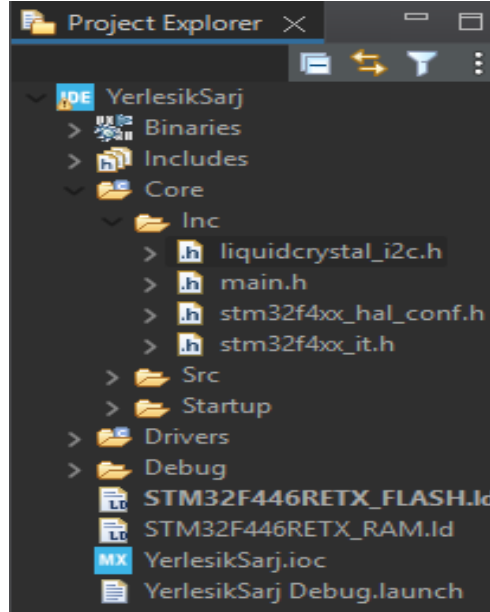
LCD ekranın I2C protokolü ile sürülmesi için kullanılan liquidcrystal_i2c.c ve liquidcrystal_i2c.h dosyaları, ekran kontrol işlemlerini gerçekleştiren fonksiyonları içeren kullanıcı tanımlı bir kütüphane yapısıdır [33].

- liquidcrystal_i2c.h başlık dosyası, kullanılacak fonksiyonların prototiplerini ve gerekli #define, struct, enum gibi sabit tanımlamalarını içerir. Proje içerisindeki diğer dosyalar bu başlık dosyasını #include komutu ile çağırarak ekranla ilgili fonksiyonlara erişim sağlar.
- liquidcrystal_i2c.c kaynak dosyası ise LCD ekran üzerinde yazı yazma, ekran temizleme, imleç konumlandırma ve ekran başlatma gibi işlevleri gerçekleştiren fonksiyonların gövdelerini (tanımlarını) içerir. Bu dosya I2C protokolü ile PCF8574 I/O expander entegresi üzerinden HD44780 LCD kontrolcüsünü sürmek üzere gerekli sinyalleri oluşturmaktadır.

Bu iki dosya birlikte çalışarak, geliştiricinin LCD ekran ile düşük seviyeli işlemler yapmasına gerek kalmadan, kolay ve modüler bir şekilde yazı yazma ve ekran kontrolü işlemlerini gerçekleştirmesine olanak tanır. Böylece proje yazılımı daha okunabilir, taşınabilir ve bakım yapılabilir hâle gelir.



Şekil 3.41: liquidcrystal_i2c.c dosyası konumu



Şekil 3.42: liquidcrystal_i2c.h dosyası konumu

```

170  /* USER CODE END 2 */
171
172  /* Infinite loop */
173  /* USER CODE BEGIN WHILE */
174  while (1)
175  {
176
177      HD44780_Clear();
178      HD44780_SetCursor(0, 0);
179      char line1[16];
180      sprintf(line1, "Batarya: %.2f V", mos);
181      HD44780_PrintStr(line1);
182
183      HD44780_SetCursor(0, 1);
184      char line2[16];
185      sprintf(line4, "VBAT: %.2f V", gelen_voltaj);
186      HD44780_PrintStr(line2);
187
188      HAL_Delay(4000);
189
190      HD44780_Clear();
191      HD44780_SetCursor(0, 0);
192      char line3[16];
193      sprintf(line3, "CP:: %.2f W", (akim * 3.3f) / 4095.0f); // Örnek dönüşüm
194      HD44780_PrintStr(line3);
195
196      HD44780_SetCursor(0, 1);
197      char line4[16];
198      printf(line4, "Sıcaklık: %lu C", temperature);
199      HD44780_PrintStr(line4);
200
201      HAL_Delay(4000);
202
203
204  /* USER CODE END WHILE */
205
206  /* USER CODE BEGIN 3 */
207  }
208  /* USER CODE END 3 */
209 }

```

Şekil 3.43: LCD ekrana yazma kodu

Şekil 3.43'te STM32 mikrodnetleyicisi tarafından ADC ve CAN üzerinden alınan veriler, I2C aracılığıyla bağlı olan QAPASS 1602A LCD ekranına sırayla yazdırılmaktadır [31], [32]. Ekran sınırlı karakter sayısına sahip olduğundan, veriler iki sayfalı bir döngüde gösterilmektedir. Her ekran 4 saniye boyunca gösterildikten sonra temizlenip bir sonraki bilgi görüntülenmektedir.

Adım adım şekil 3.43'teki kod aşağıda açıklanılmıştır:

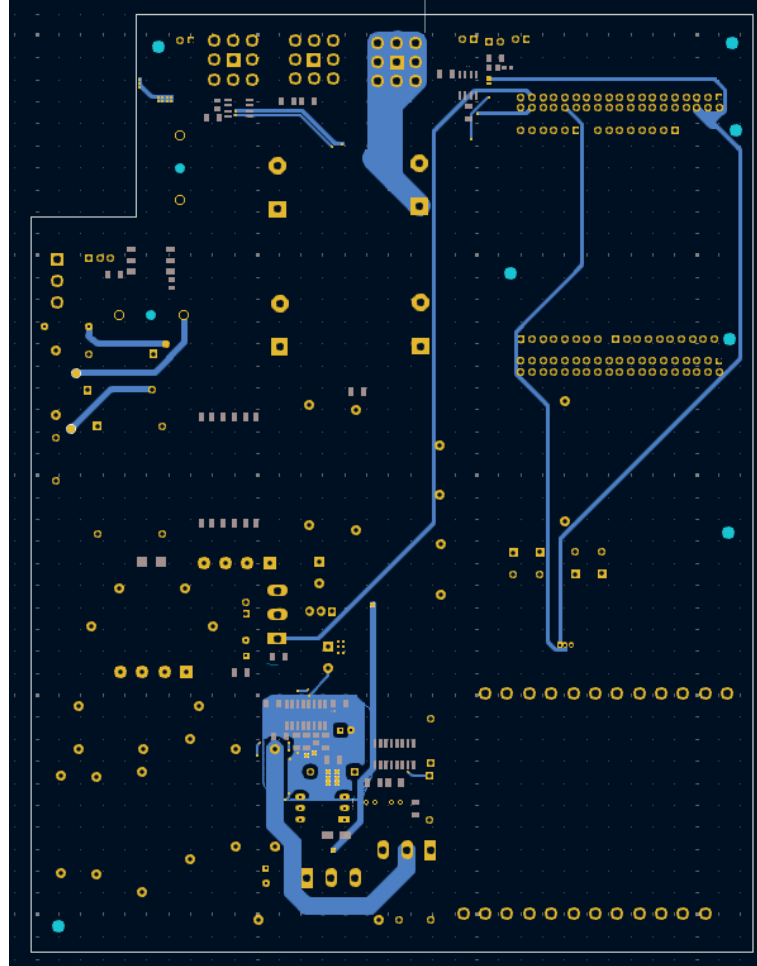
- LCD ekran temizlenir.
- İmleç 0. satır, 0. sütuna konumlandırılır.
- mos değişkeni doğrudan ADC'den gelen batarya ölçüm değerini temsil eder (örneğin 0-4095 arası).
- Bu değer, sprintf ile "Batarya: xx.xx V" formatında line1 isimli string değişkene yazılır.
- HD44780_PrintStr() fonksiyonu ile ekrana yazdırılır.

- İmleç ikinci satıra (1. satır, 0. sütun) çekilir.
- Gelen voltaj, dışarıdan CAN haberleşmesi ile alınan voltaj bilgisidir.

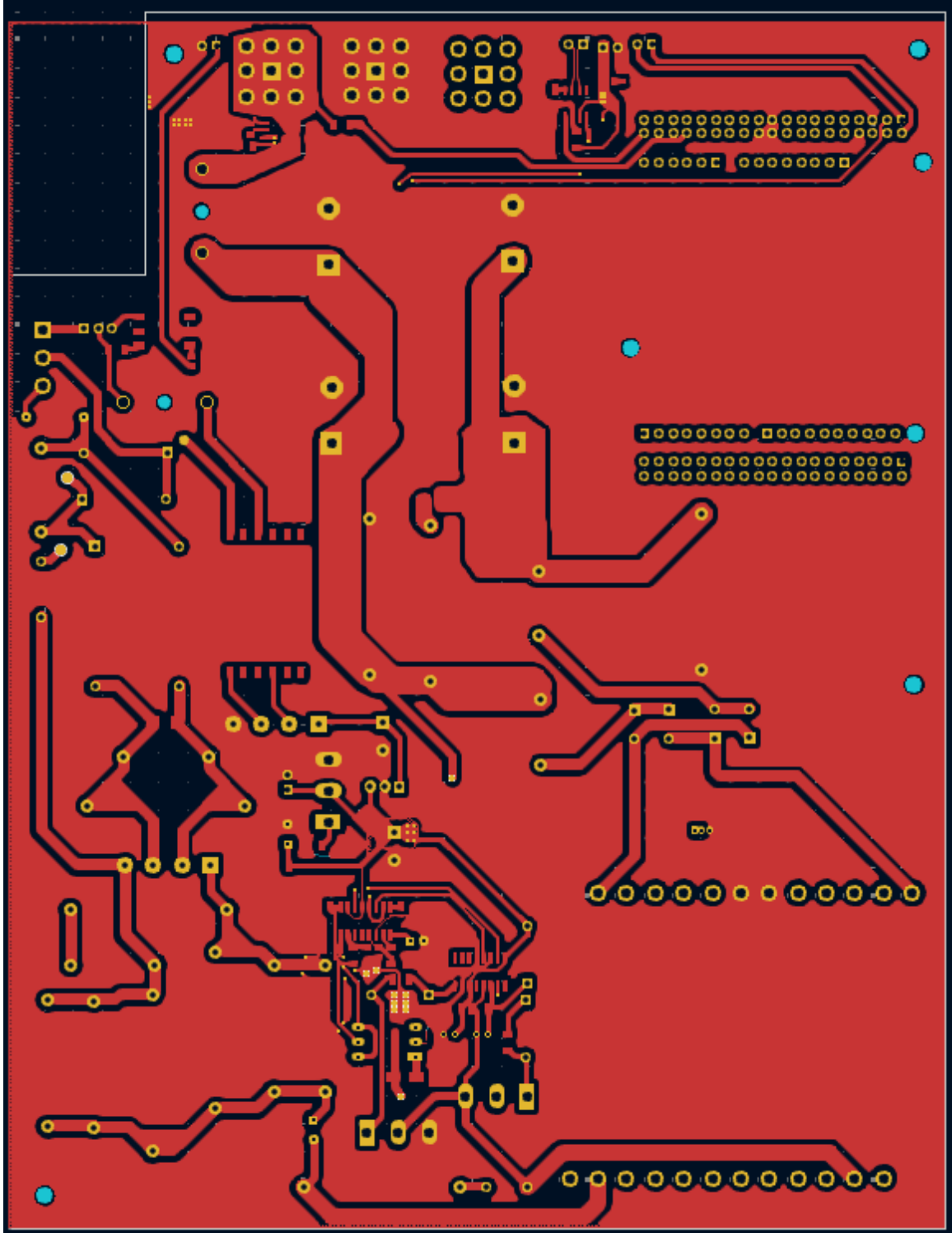
3.12. PCB ÖZELLİKLERİ VE TASARIM AŞAMASI

Baskı devre kartı, açık kaynaklı elektronik tasarım otomasyonu yazılımı olan KiCad kullanılarak tasarlanmıştır. Kart, çift katmanlı yapıda hazırlanmış ve hem ön yüz hem de arka yüz) aktif şekilde kullanılmıştır. Bu yaklaşım sayesinde hem sinyal yolları hem de güç hatları dengeli bir şekilde dağıtılmış, yerleşim optimizasyonu sağlanmıştır.

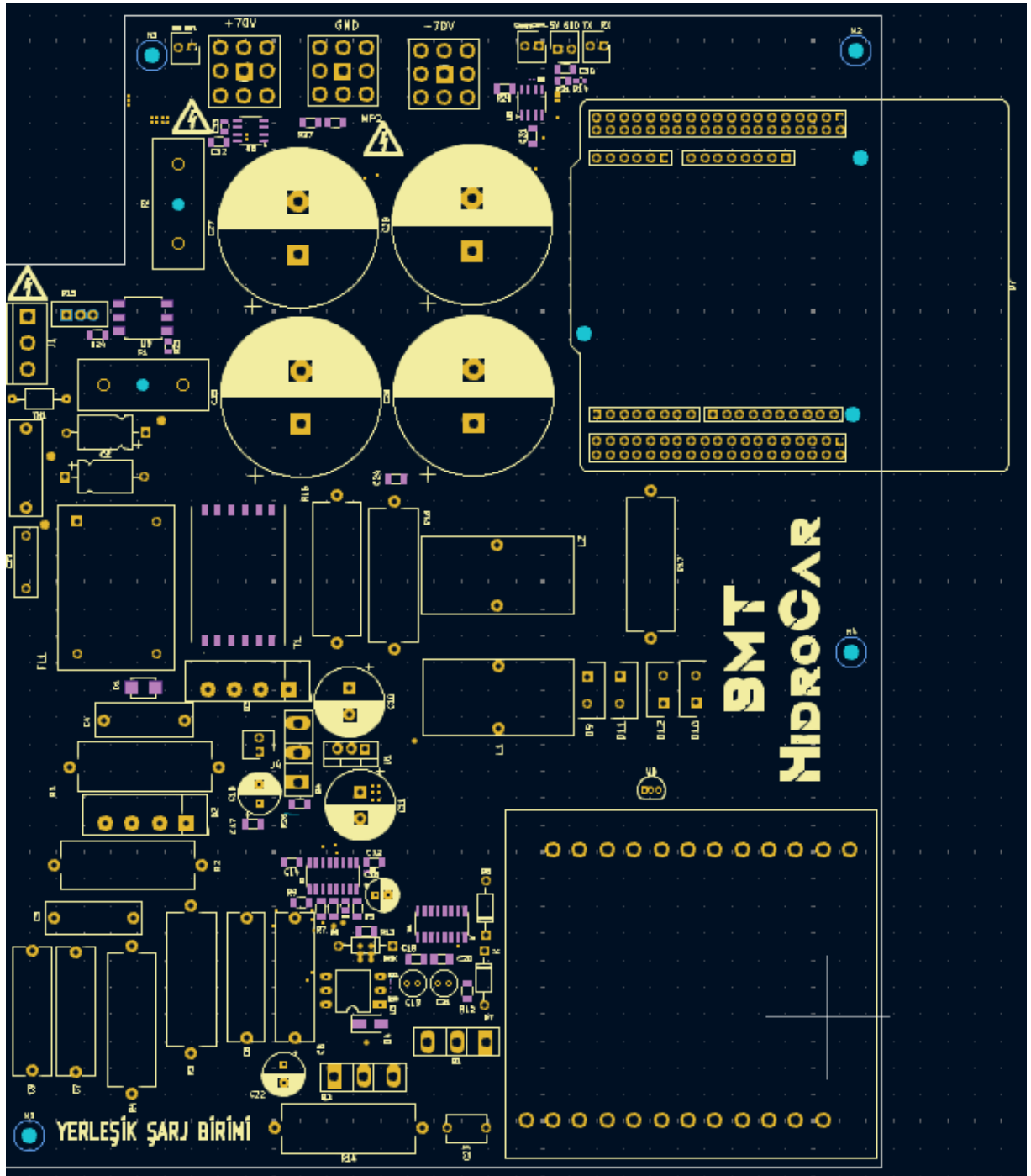
Kartın boyutları 213 mm x 166 mm olarak belirlenmiştir. Bu ölçüler, yerleşik şarj sistemi devrelerinin tamamını güvenli ve ergonomik şekilde barındıracak yeterlilikte olup, hem masaüstü testleri hem de araç içi entegrasyon için uygun ebatlardadır.



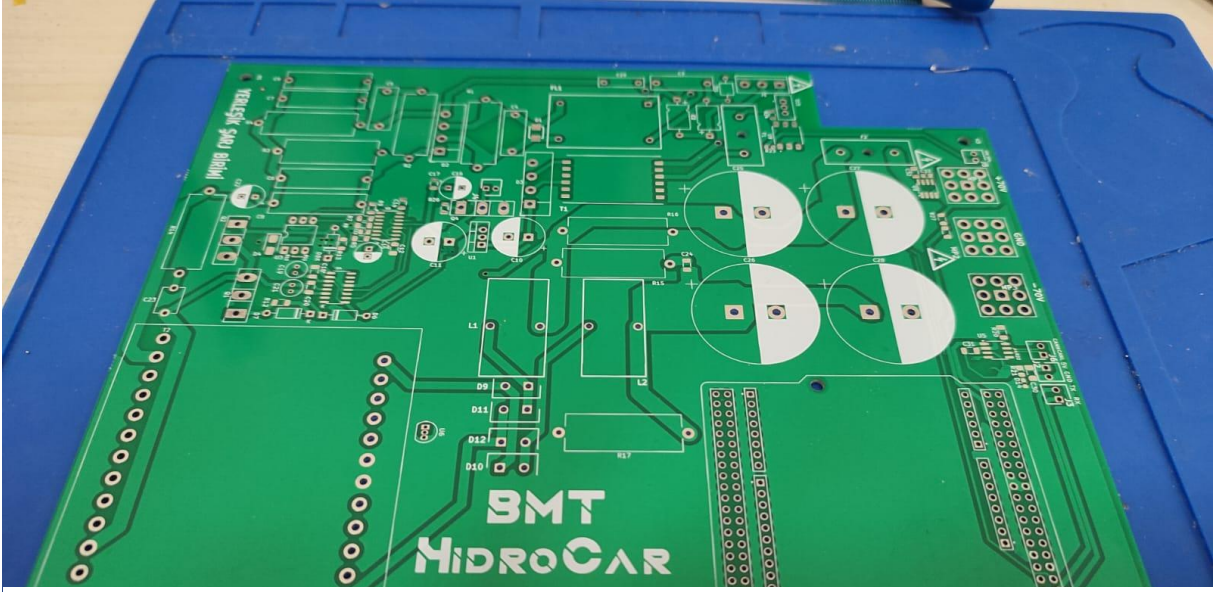
Şekil 3.44: PCB tasarım Alt katman görüntüsü



Şekil 3.45: PCB tasarım ön katman görüntüsü



Şekil 3.46: PCB serigrafi katmanı



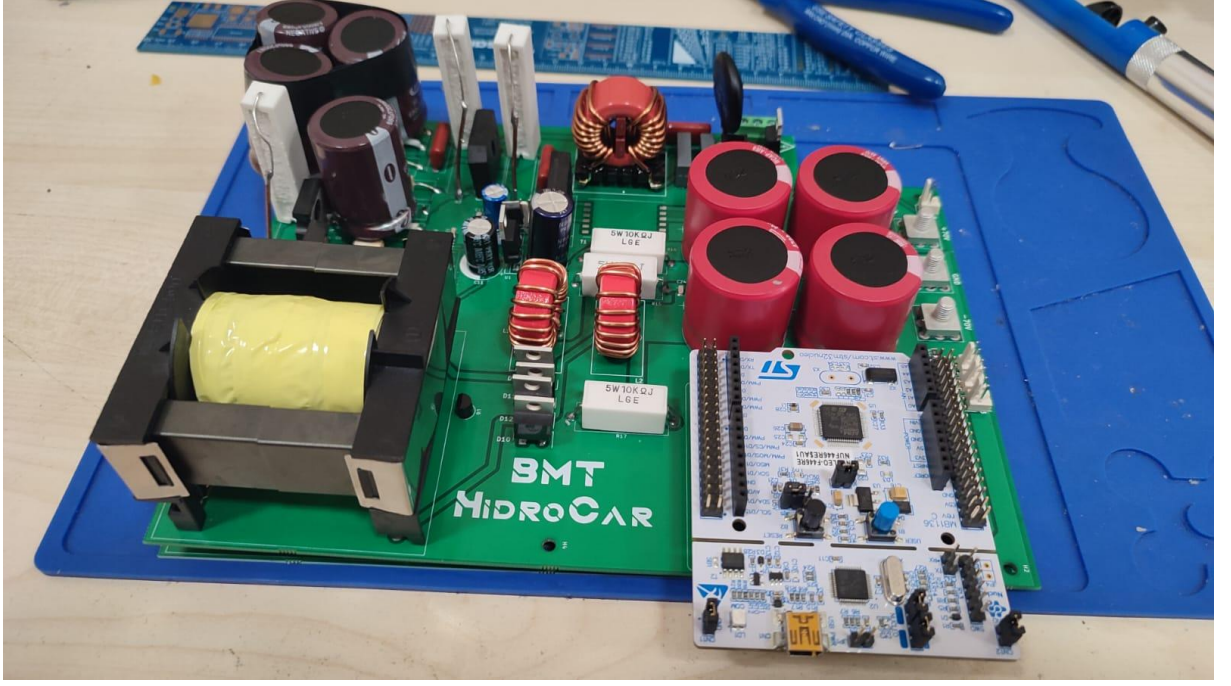
Şekil 3.47: PCB kartı lehimleme öncesi görüntüsü

3.12.1. Lehimleme Süreci

PCB üretimi tamamlandıktan sonra, tüm elektronik bileşenlerin kart üzerine montajı elle lehimleme yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Lehimleme işlemleri proje ekibi tarafından titizlikle yürütülmüş olup, hem yüzey montaj (SMD) hem de delikli (THT) tipteki bileşenler doğru konumlandırılarak devre şeması ve serigrafi katmanına uygun şekilde karta yerleştirilmiştir.

Lehimleme işlemlerinde kaliteli lehim teli ve hassas uçlu havya ekipmanları kullanılmış, bileşenlerin bacakları ve pad yüzeyleri özenle temizlenerek lehimleme öncesi hazırlıkları yapılmıştır. Özellikle yüksek akım taşıyan hatlarda ve güç elektroniği bileşenlerinde daha geniş lehim yüzeyleri oluşturularak temas kalitesi artırılmıştır. Akım yollarındaki düşük temas direnci ihtiyacı doğrultusunda, bazı bölgelerde lehimleme desteklenerek daha kalın iletken yollar elde edilmiştir.

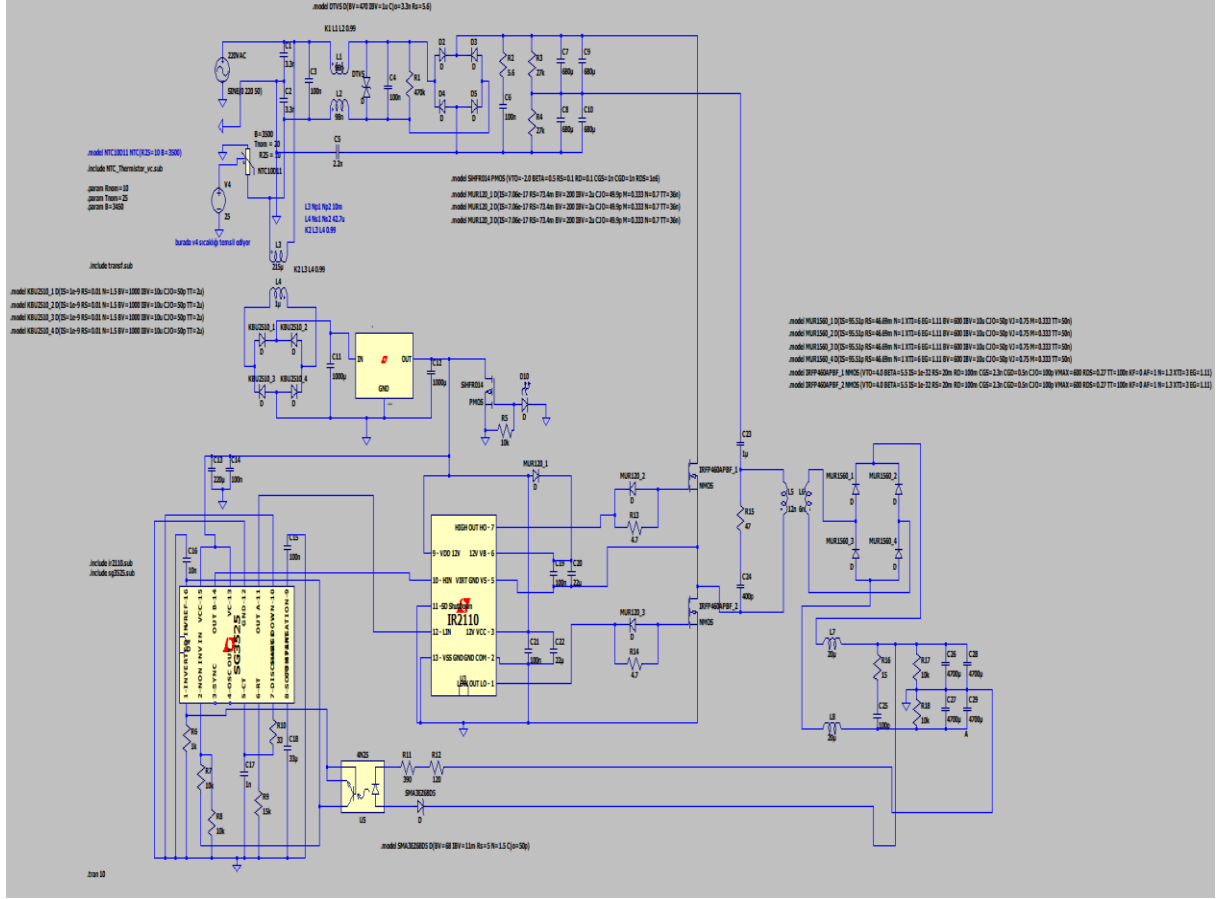
Lehim sonrası kontrollerde, tüm bağlantılar multimetre ile süreklilik testi yapılarak doğrulanmış; soğuk lehim, köprüleme veya eksik lehim gibi üretim hatalarına karşı gerekli kontroller sağlanmıştır. Ayrıca lehimleme sırasında oluşabilecek flux kalıntıları, izopropil alkol yardımıyla temizlenerek kartın hem görsel hem de elektriksel kalitesi yükseltilmiştir.



Şekil 3.48: PCB kartı lehimleme sonrası görüntüsü

4. BULGULAR

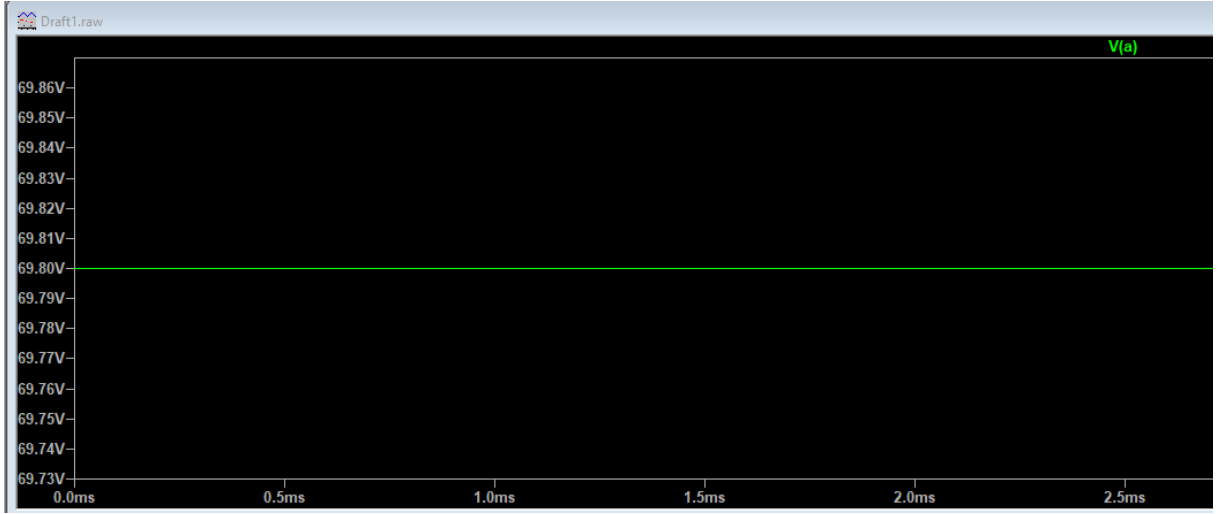
4.1. DEVRE SİMÜLASYONU



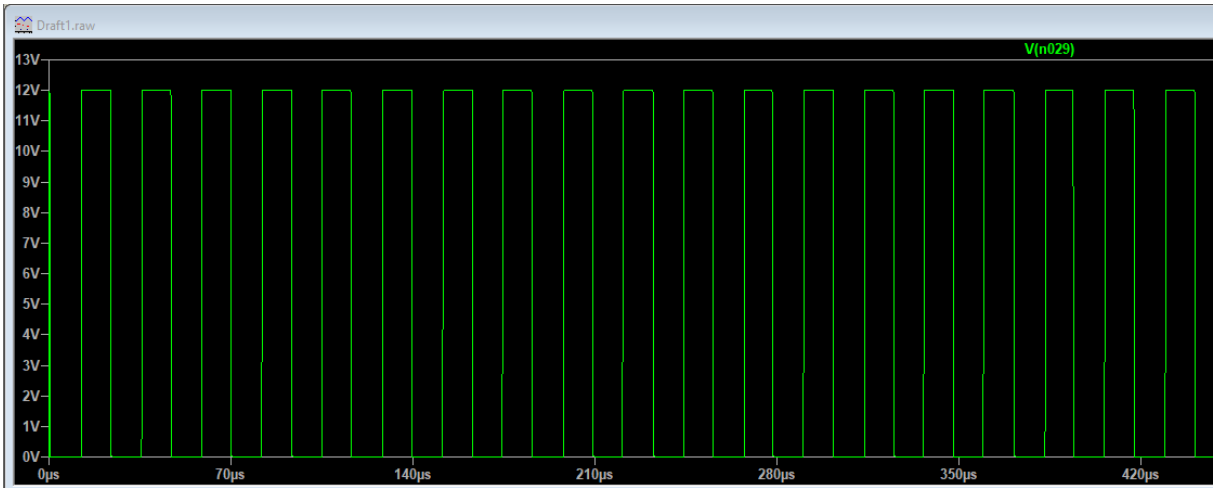
Şekil 4.1: LTSpice simülasyon dosyası

Devrenin LTSpice programında oluşturuldu ve “tran10” simülasyonunda gerçekleştirildi. “model” kullanılarak devrede kullanılan elemanların datasheetleri incelenerek uygun model satırları eklendi ve “include” ile SG3525, IR2110 ve LM7812 için uygun şemalar bulundu, simülasyon dosyalarından uygun yerlere konumlandırılarak kurulumu tamamlandı.

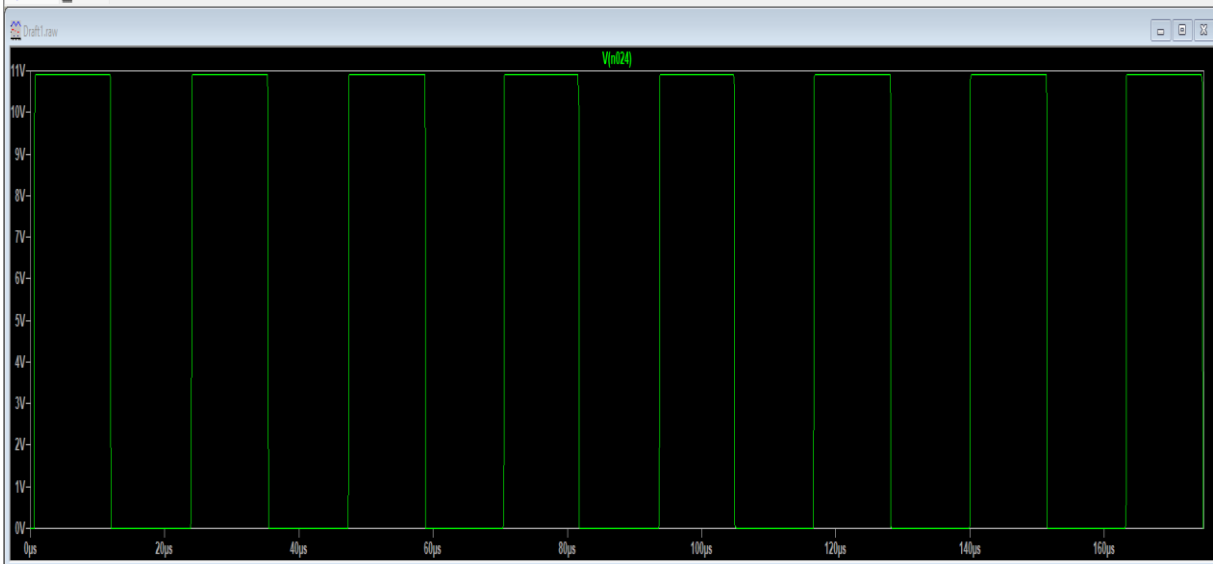
4.2. SİMÜLASYON SONUÇLARI



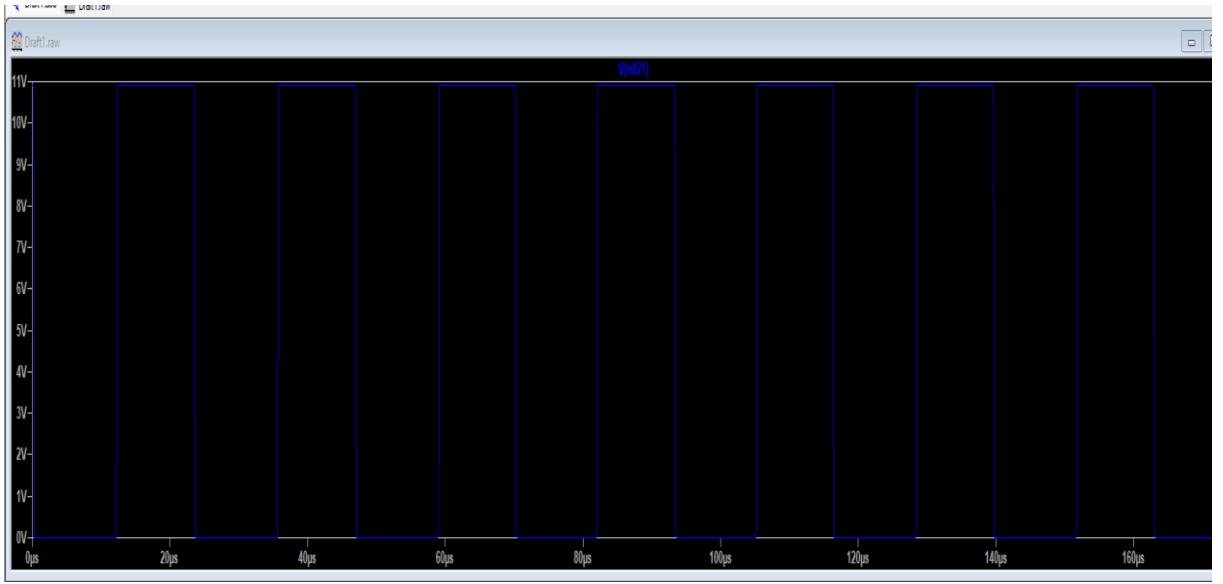
Şekil 4.2: A düğümünün olması gereken -70V görüntüsü



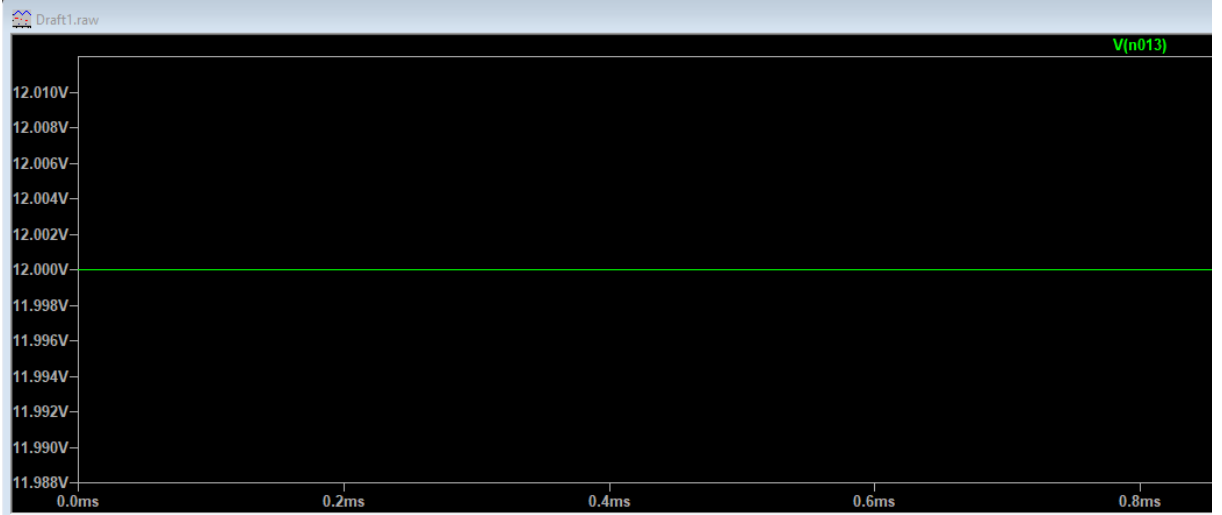
Şekil 4.3: IR2110 1. pini olan LOW OUT LO çıkışı



Şekil 4.4: SG3525 14. pini olan OUT B çıkış sinyali ($V_{pp} = 11V$)



Şekil 4.5: SG3525 11. pini olan OUT A çıkış sinyali ($V_{pp} = 11V$)



Şekil 4.6: LM7812 OUT pini voltajı

Geliştirilmekte olan elektrikli araç şarj ünitesi için yapılan ön tasarım ve mühendislik hesaplamaları doğrultusunda, sistemin çıkışında elde edilmesi planlanan temel elektriksel parametreler belirlenmiştir. Bu bağlamda, cihazın nominal çıkış akımının 10 A, çıkış geriliminin ise 70 V DC olması öngörülmektedir. Buna bağlı olarak sistemin sağlayacağı toplam güç değeri teorik olarak 700 W olarak hesaplanmıştır.

$$P = V \times I$$

(Denklem 4.1: Güç Hesaplaması)

$$P = 70 \times 10 = 700 \text{ W}$$

Bu değerler, sistemin orta düzey bir elektrikli araç bataryasını destekleyebilecek kapasitede olduğunu göstermektedir.

Elektrikli araç batarya sistemlerinin şarj edilmesine yönelik güç elektroniği temelli çözümler, günümüzde oldukça önem kazanmıştır. Özellikle DC hızlı şarj ünitelerinde çıkış akımı ve geriliminin belirlenmesi, batarya yapısına ve kapasitesine bağlı olarak mühendislik hesaplamalarıyla yapılmaktadır [34], [35]. Tasarım sürecinde kullanılan bu planlı parametreler, ileride gerçekleştirilecek fiziksel prototip testleriyle doğrulanacak olup, bu süreç sonucunda teorik ve pratik sonuçlar karşılaştırılarak sistem performansı analiz edilecektir. Benzer çalışmalarda da görüldüğü üzere, teorik analizler ile elde edilen değerlerin prototip aşamasındaki testlerle karşılaştırılması, sistemin güvenilirliğini ve verimliliğini değerlendirmek açısından kritik öneme sahiptir [36].

4.3. DEVRE İLE YAZILIM ÇIKTISI



Şekil 4.7: Birinci ekran



Şekil 4.8: İkinci ekran

Şekil 4.7’de birinci ekran kullanıcıya çıktıktan 4 saniye sonra şekil 4.8’deki ikinci ekran çıkıyor. LED komutları şekil 3.43’te görüleceği üzere while döngüsü içerisinde yazıldığından aynı işlemi yapmaya devam ettiği gözlemlenmiştir.

Expression	Type	Value
temperature	float	42.7912102

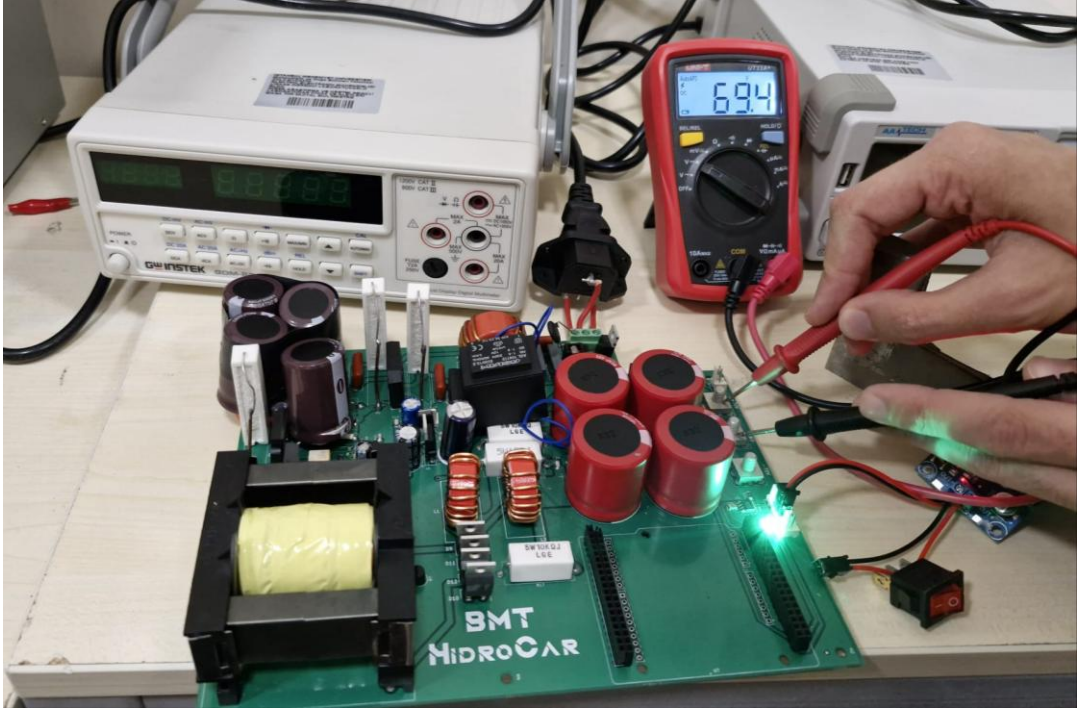
Şekil 4.9: ADC ile temperature değişkeni değerini okuma

Şekil 4.9’da temperature değerinin sensörden gelen değere bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir.

4.4. ÇIKIŞ GERİLİMİ ÖLÇÜMÜ



Şekil 4.10: Kart çalışırken ki görüntüsü



Şekil 4.11: Çıkış gerilimi ölçümü

Çıkış gerilimi simülasyon ve hesaplamalara göre %99.14 doğrulukla 69.4 V olarak ölçülmüştür.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma kapsamında şehir şebekesinden alınan alternatif akımı, elektrikli araç bataryalarının şarj gereksinimlerine uygun doğru akıma dönüştürebilen yerleşik bir şarj birimi tasarlanmış ve prototip düzeyinde gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen sistem, yarım köprü topolojisi üzerine kurulmuş olup, kontrol devresinde SG3525 PWM üretici entegresi ve IR2110 sürücü entegresi ile MOSFET'ler etkin bir biçimde sürülerek güç dönüşümü sağlanmıştır. Tasarlanan yapı, hem kontrol hem de güç elektronigi katmanlarını bir arada içeren bütünleşik bir çözüm sunması açısından literatürdeki benzer çalışmalardan ayrılmaktadır [39].

Tasarım süreci boyunca özellikle modülerlik, düşük maliyet, verimlilik ve donanımsal sadelik gibi mühendislik kriterleri ön planda tutulmuştur. SG3525 entegresi ile oluşturulan PWM sinyalleri, IR2110 üzerinden MOSFET'lere aktarılmış ve bu sayede sistemin yüksek frekanslı, simetrik ve kararlı bir şekilde çalışması sağlanmıştır. Özellikle 50 kHz düzeyinde çalışacak şekilde yapılan frekans ayarlamaları, sistemin manyetik elemanları üzerinde optimum çalışmasını desteklemiş ve güç kayıplarını minimize etmiştir. IR2110 sürücü entegresi sayesinde yüksek ve alçak taraf MOSFET'ler arasında senkron anahtarlama sağlanmış ve anahtarlama kayıpları önemli ölçüde azaltılmıştır.

Yarım köprü topolojisinin tercih edilmesinin arkasında yatan temel nedenler; anahtarlama elemanı sayısının azlığı, sürücü devresi basitliği ve maliyet avantajlarıdır. Ayrıca, bu topoloji özellikle düşük ve orta güçlü yerleşik şarj sistemlerinde sıkça tercih edilmekte ve ısıl yönetim açısından avantajlar sunmaktadır. Bu yapı, uygulamada karşılaşılan alan kısıtı, ısıl denge ve elektromanyetik girişim (EMI) gibi zorlukların çözümüne yönelik olarak sadeleştirilmiş bir tasarım mantığına sahiptir.

Gerçekleştirilen prototipte, SG3525 entegresine ilişkin hesaplamalar literatür kaynaklarıyla da desteklenerek yapılmış ve deneysel ölçümlerle bu teorik değerlerin tutarlılığı test edilmiştir. PWM sinyallerinin doğruluğu, sürücü çıkışlarındaki gerilim seviyesi, MOSFET'lerin ısınma durumu ve çıkıştaki DA gerilim seviyesi gibi parametreler, sistemin beklentilere uygun performans sergilediğini göstermektedir. Bu durum, tasarlanan kontrol algoritması ile güç devresi arasındaki uyumun yüksek olduğunu ve sinyal bütünlüğünün başarıyla sağlandığını ortaya koymaktadır.

Tasarım sürecinde karşılaşılan zorluklar arasında özellikle yüksek frekanslı çalışmanın neden olduğu parazitler ve ısıl yayılım sorunları ön plana çıkmıştır. Bu tür problemlerin çözümünde, uygun PCB yerleşimi, gate dirençlerinin doğru seçimi ve sürücü besleme hatlarının filtrelenmesi gibi mühendislik çözümleri uygulanmıştır. Ayrıca sistemde kullanılan doğrultucu ve filtre devresi ile çıkışta elde edilen DC gerilimin pürüzsüz ve batarya için uygun düzeyde olması sağlanmıştır.

Literatürde yer alan benzer çalışmalarda genellikle kontrol katmanı yazılımsal olarak mikrodenetleyici üzerinden gerçekleştirilmekte, bu da donanımsal sadeleştirme sağlasa da sistemin kararlılığı ve güvenliği açısından bazı kısıtlar doğurabilmektedir [39][4]. Bu çalışmada ise donanımsal tabanlı bir kontrol sistemi geliştirilerek, mikrodenetleyici kaynaklı zamanlama belirsizlikleri ve karmaşık yazılım hataları ortadan kaldırılmıştır. Donanımsal PWM üretimi ve MOSFET sürümü sayesinde daha kararlı ve deterministik bir yapı elde edilmiştir.

Sistem, gelecekte batarya yönetim sistemi (BYS) ile haberleşmeyi mümkün kılacak şekilde yapılandırılmıştır. Bu sayede şarj sürecinin adaptif hale gelmesi, batarya sıcaklık, voltaj ve akım değerlerine göre dinamik kontrol sağlanması ve güvenli şarj protokollerinin uygulanması mümkün hale gelecektir. Bu özellik, ticari uygulamalarda önemli bir gereklilik olup, sistemin endüstriyel ölçekte uygulanabilirliğini artırmaktadır [37].

Sonuç olarak, bu çalışmada geliştirilen yerleşik şarj birimi:

- Elektrikli araçlar için güvenilir, verimli ve düşük maliyetli bir şarj çözümü sunmaktadır.
- Donanımsal olarak hem güç katmanı hem de kontrol devresini entegre biçimde ele alarak özgün bir mühendislik yaklaşımı ortaya koymaktadır.
- Literatürdeki benzer çalışmalardan daha uygulamaya dönük ve yüksek entegrasyonlu bir çözüm sunmasıyla öne çıkmaktadır.

Bu tez çalışması, yalnızca teorik katkılar sunmakla kalmayıp, prototip düzeyinde gerçekleştirilmiş olması nedeniyle pratik uygulamalara doğrudan aktarılacak bir altyapı da sunmaktadır. Gelecekte, sistemin çok seviyeli topolojilerle genişletilmesi, dijital kontrol sistemleri ile entegre edilmesi ve araç içi haberleşme protokolleriyle birlikte çalışabilirliğinin artırılması hedeflenmektedir. Ayrıca şarj sürelerinin azaltılması, termal performansın iyileştirilmesi ve EMI problemlerine karşı daha ileri düzey önlemler alınması ile sistem daha da optimize edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Yılmaz, A., Doğan, M., & Şahin, F. (2021). Elektrikli araçlar için yarım köprü topolojisi ile şarj devresi tasarımı. *Elektrik Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Dergisi*, 9(1), 45–53.
- [2] Zhang, H. (2020). Design and analysis of high-efficiency on-board charger using half-bridge topology. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 35(7), 6782–6792.
- [3] Kumar, P. (2019). PWM control using SG3525 for high frequency SMPS applications. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 10(3), 1347–1355.
- [4] STMicroelectronics. (2004). SG2525A, SG3525A – Regulating pulse width modulator. <https://www.st.com/resource/en/datasheet/sg2525.pdf>
- [5] TEKNOFEST, 2025, Uluslararası Efficiency Challenge Elektrikli Araç Yarışları [online], İstanbul, TEKNOFEST. <https://www.teknofest.org/tr/yarismalar/uluslararasi-efficiency-challenge-elektrikli-arac-yarisleri/> [Ziyaret Tarihi: 21 Mayıs 2025].
- [6] STMicroelectronics. (2016). An Introduction to LLC Resonant Half-Bridge Converter. Application Note AN2644.
- [7] Ridley Engineering. (2024). The Nine Most Useful Power Topologies.
- [8] Mouser Electronics. (2024). Half-Bridge DC/DC Converters.
- [9] RF Wireless World. (2023). Half-Bridge Converter: Advantages and Disadvantages.
- [10] Monolithic Power Systems. (2024). Understanding LLC Operation.
- [11] IR2110 Datasheet, Infineon Technologies.
- [12] EverExceed. (2023). Comparison of Half and Full-Bridge Circuits.
- [13] Erickson, R. W., & Maksimovic, D. (2001). *Fundamentals of Power Electronics*. Springer.
- [14] Ferroxcube. (2020). ETD59 Ferrite Core Datasheet.
- [15] TDK Electronics. (2023). Ferrite Cores for SMPS Applications.
- [16] Pressman, A. I., Billings, K., & Morey, T. (2009). *Switching Power Supply Design*. McGraw-Hill.
- [17] NXP Semiconductors. (2022). 3C97 Ferrite Material Data Sheet.
- [18] Lee, F. C., et al. (1993). Design considerations for high frequency isolated DC-DC converters. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 8(4), 410–418.

- [19] EverExceed. (2023). Comparison of Transformer Topologies for EV Chargers. Retrieved from: <https://www.everexceed.com/>
- [20] STMicroelectronics, 2025, NUCLEO-F446RE - STM32 Nucleo-64 geliştirme kartı [online], Cenevre, STMicroelectronics. <https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-f446re.html> [Ziyaret Tarihi: 21 Mayıs 2025].
- [21] ON Semiconductor, 2016, ADT7462 – Flexible Temperature, Voltage Monitor, and System Fan Controller [online], Phoenix, Arizona, ON Semiconductor. <https://assets.sourcengine.com/datasheets/2a7314d8-9e00-4f93-aa10-bd9b42f7f2a5.pdf> [Ziyaret Tarihi: 21 Mayıs 2025].
- [22] AMICON, 2025, JF0625S1H-R – 60x60x25mm 12V 0.23A DC Aksiyel Fan [online], İstanbul, Özdisan Elektronik. <https://www.ozdisan.com/elektromekanik-komponentler/fanlar/genel-tip-fanlar/JF0625S1H-R/1053423> [Ziyaret Tarihi: 21 Mayıs 2025].
- [23] RAHMAN, M.A., SARKER, S., HABIB, M.A., ve AL, M.A., 2021, PC Based Wireless Remote Monitoring System for Photovoltaic (PV) Panel Efficiency Analysis, American Journal of Engineering Research (AJER), 8 (8), 111-117.
- [24] SMYTHE, R.J., 2021, Arduino in Science: Collecting, Displaying, and Manipulating Sensor Data, “Current Control” bölümü, 353–414, CRC Press, Boca Raton, 0-07-240241-5
- [25] MICROCHIP TECHNOLOGY INC., 2016, MCP2551 High-Speed CAN Transceiver [online], Chandler, Arizona, Microchip Technology Inc. <https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/20001667g.pdf> [Ziyaret Tarihi: 21 Mayıs 2025].
- [26] STMICROELECTRONICS, 2022, *STM32F446RE Datasheet*, STMicroelectronics, <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f446re.pdf> [Erişim Tarihi: 25 Mayıs 2025].
- [27] STMICROELECTRONICS, 2022, *UM1718: STM32CubeIDE User Guide*, STMicroelectronics, https://www.st.com/resource/en/user_manual/dm00427658-stm32cubeide-user-guide-stmicroelectronics.pdf [Erişim Tarihi: 25 Mayıs 2025].
- [28] STMICROELECTRONICS, 2023, *STM32Cube HAL and LL Drivers User Manual*, STMicroelectronics.
- [29] TEXAS INSTRUMENTS, 2015, *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*, Texas Instruments, <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf> [Erişim Tarihi: 25 Mayıs 2025].
- [30] MICROCHIP, 2021, *MCP3421/2/3/4 – 18-Bit Delta-Sigma ADC Data Sheet*, Microchip Technology Inc., <https://www.microchip.com> [Erişim Tarihi: 25 Mayıs 2025].
- [31] QAPASS, 2022, *1602A LCD Module Datasheet*, Qapass, <https://qapass.com/docs/1602a.pdf> [Erişim Tarihi: 25 Mayıs 2025].
- [32] SPENGLER, F., 2020, *CAN Protocol and STM32 Implementation*, IEEE Transactions on Embedded Systems, 10(2), 88–101.
- [33] WANG, J. ve diğ., 2019, *Design of I2C Communication for Embedded Systems*, International Journal of Embedded Engineering, 12(3), 45–59.

- [34] M. Aydın, Elektrikli Araçlar İçin Güç Elektroniği Temelli Şarj Sistemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2020.
- [35] M. Yılmaz ve P. T. Krein, “Plug-in Elektrikli ve Hibrit Araçlar İçin Şarj Üniteleri: Topolojiler ve Altyapı İncelemesi,” IEEE Transactions on Power Electronics, cilt 28, no. 5, ss. 2151–2169, 2013.
- [36] S. Karakuş, Elektrikli Araçlar İçin DC/DC Dönüştürücü Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.
- [37] J. Miller, “Onboard Chargers for Plug-in Electric Vehicles,” IEEE Power Electronics Magazine, vol. 2, no. 1, pp. 22–25, Mar. 2015.
- [38] B. Singh, A. K. Bhatia, and A. K. Pandey, “Power factor correction in AC–DC converters for electric vehicle battery chargers,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 70, pp. 133–143, Apr. 2017.
- [39] Y. Liu, W. Zhang, J. Wang, and L. Ma, “Design and Implementation of a Bidirectional On-Board Charger for Electric Vehicles,” in Proc. IEEE Vehicle Power and Propulsion Conf. (VPPC), Hangzhou, 2016, pp. 1–5.