

T.C.

**GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN
BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ DONANIMI
TASARIMI**

**ERTAN ALDOĞAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

GEBZE

2012

T.C.

**GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN
BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ DONANIMI
TASARIMI**

**ERTAN ALDOĞAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. ABDULKADİR BALIKÇI**

GEBZE

2012



YÜKSEK LİSANS TEZİ JÜRİ ONAY SAYFASI

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 15.06.2012 tarih ve 2012/22 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 13.07.2012 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Ertan ALDOĞAN'nın tez çalışması Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Abdulkadir BALIKÇI

ÜYE

: Doç. Dr. M. Hakan HOCAOĞLU

ÜYE

: Doç. Dr. Erkan ZERGEROĞLU

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../20... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI : ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ DONANIMI TASARIMI

YAZAR ADI : ERTAN ALDOĞAN

Elektrikli araçlara olan ilgi günden güne artmaktadır. Çevre kirliliği ile mücadelede ve doğal kaynakların korunması kapsamında, elektrikli araçlar başlıca araştırma konularından birisi haline gelmiştir. Elektrikli araçların kullanımlarının artmasıyla bataryaların şarj ve deşarj döngülerini kontrol eden Batarya Yönetim Sistemleri(BYS)'nin de önemi artmakta ve BYs'lerin geliştirilmesi ve verimlerinin artırılması için araştırmalar yapılmaktadır.

Bu tez kapsamında önce BYs'ler üzerinde yapılan araştırmalardan bahsedilmiş ve bir BYs'nin genel özellikleri anlatılmıştır. Daha sonra bir BYs tasarımı yapılmış ve bu tasarım tamamlanıp gerçekleştirildikten sonra yapılan donanım testlerinden bahsedilmiştir.

SUMMARY

TITLE OF THE THESIS : DESIGNING OF A BATTERY MANAGEMENT SYSTEM FOR ELECTRIC VEHICLES

AUTHOR : ERTAN ALDOĞAN

The global increase in exhaust emissions have become the main reason for air pollution. At the same time the world's oil resources are running out faster than expected. For all of these, Electric Vehicles (EV) are getting more popular. Because of the increased interest in electric vehicles and hybrid electric vehicles, Battery Management System (BMS) has become one of the chief component in an automobile.

In this thesis, firstly general properties and characteristics of a BMS were mentioned. Then a BMS was designed and the hardware and software information was explained. Finally the test results of this BMS were written.

TEŞEKKÜR

Öncelikle öğrenciliğim boyunca benden zamanını ve ilgisini esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Abdulkadir BALIKÇI'ya, ayrıca eğitimim boyunca hep desteklerini gördüğüm Ortem Elektronik yöneticilerine, manevi desteklerini esirgemeyen iş arkadaşlarıma ve tabii ki her zaman arkamda olan aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ayrıca bu çalışma TÜBİTAK 110E209 nolu proje tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	v
SUMMARY	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	viii
SİMGELELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ (BYS)	4
2.1. BYS Topolojileri	5
2.1.1. Merkezi Kontrol Topolojisi	5
2.1.2. Dağılmış Kontrol Topolojisi	6
2.1.3. Modüler Kontrol Topolojisi	6
2.2. Lityum-İyon Bataryalarda Dengeleme Teknikleri	7
2.2.1. Pasif Dengeleme Tekniği	8
2.2.2. Aktif Dengeleme Tekniği	9
2.2.3. Her İki Dengeleme Sisteminin Karşılaştırılması	11
3. TASARLANAN BATARYA YÖNETİM SİSTEMİNİN ÖZELLİKLERİ	13
3.1. Sistemin Genel Özellikleri	13
3.2. Pil Dengeleme Yöntemi	16
3.3. Şarj İşlemi	17
3.4. Deşarj İşlemi	18
3.5. SOC/DOD Hesabı Algoritması	20
3.6. SOH Hesabı	21
3.7. Batarya Sıcaklığını Okuma	21
3.8. Adresleme Yapısı	21
3.9. Kayıt Tutma Özelliği	22
3.10. Haberleşme	22
3.11. İzole Edilmiş Regülatör Seçimi	23
3.12. Pil Şarj Devresi	23
3.13. Akım Okuma Yapısı	24
4. ŞEMATİK TASARIMI	25

4.1.	Ana Kartın Şematik Tasarımı	25
4.1.1.	Ana Kartın Blok Şeması	25
4.1.2.	CAN Kontrol Birimi	27
4.1.3.	LIN Kontrol Birimi	28
4.1.4.	12V Regülatör Birimi	29
4.1.5.	Güç Çıkışı Kontrol Birimi	30
4.1.6.	Giriş – Çıkış Birimi	32
4.1.7.	Kart Gerilimleri Okuma Birimi	34
4.1.8.	Röle Kontrol Birimi	34
4.1.9.	Akım Trafosu Kontrol Devresi	37
4.1.10.	Ana Kart Adres Bloğu	39
4.1.11.	EEPROM Birimi	39
4.1.12.	İşlemci Birimi	40
4.2.	Çocuk Kartın Şematik Tasarımı	40
4.2.1.	Çocuk Kartın Blok Şeması	40
4.2.2.	LIN Kontrol Birimi	42
4.2.3.	3.3V ve 5V Buck/Boost Regülatör Birimleri	42
4.2.4.	Batarya Şarj Birimi	44
4.2.5.	İzolatör Birimi	45
4.2.6.	Akım Okuma Birimi	48
4.2.7.	ADC Birimi	50
4.2.8.	Forward Regülatör Birimi	50
4.2.9.	İşlemci Birimi	54
5.	KARTLARIN AKIM ANALİZLERİ	55
5.1.	Ana Kartın Akım Analizleri	55
5.2.	Çocuk Kartın Akım Analizleri	58
5.3.	Forward Regülatörün Akım Analizleri	61
6.	KARTLARIN ÇALIŞTIRILMASI	64
6.1.	LIN Haberleşmesi Verimi	64
6.2.	CAN Haberleşmesi Verimi	66
6.3.	Pil Şarj Akımının Okunması	66
6.4.	Pilin Şarj Edilmesi Testi	68
6.5.	Deşarj Sırasında Akımın Okunması	69
7.	KARTLARIN GÜÇ HARCAMA TESTLERİ	71

7.1. Ana Kartın Güç Harcama Testi	71
7.2. Çocuk Kartın Güç Harcama Testi	71
8. ŞARJ – DEŞARJ TESTİNİN SONUÇLARI	74
9. KARTLARIN MALİYET ÇALIŞMASI	78
10. SONUÇLAR VE GELECEĞE YÖNELİK ÇALIŞMALAR	80
KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ	85

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

BMS	: Battery Management System
BYS	: Batarya Yönetim Sistemi
SOH	: State of Health
SOC	: State of Charge
DOD	: Depth of Discharge
CAN	: Controller Area Network
LIN	: Local Interconnect Network
UART	: Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
I2C	: Inter-Integrated Circuit
SPI	: Serial Peripheral Interface Bus
RS232	: Recommended Standard 232
DVL	: Discharge Voltage Limit
CVL	: Charge Voltage Limit
EKM	: Enerji Koruma Modu
BC	: Bulk Charge
FC	: Fine Charge
CCCV	: Constant Current, Constant Voltage
SPS	: Sample Per Second
Ah	: Ampere-Hour
ESR	: Equivalent Series Resistance

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1.1.1: Merkezi Kontrol Topolojisi Şeması	6
2.1.2.1: Dağılmış Kontrol Topolojisi Şeması	6
2.1.3.1: Modüler Kontrol Topolojisi Şeması	7
2.7.1.1: Pasif dengeleme sırasında batarya gerilimleri.	8
2.7.1.2: Pasif dengeleme genel devre şeması.	9
2.7.2.1: Anahtarlama kondansatör tekniği.	10
2.7.2.2: PowerPump tekniğinin blok şeması [14].	11
3.1.1: BYS'nin basit blok şeması.	14
3.2.1: Bir Li-Ion pilin şarj-deşarj sırasındaki pil gerilimi grafiği [16].	16
3.4.1: Batarya EKM blok diyagramı.	19
4.1.1.1: Ana kartın blok şeması	26
4.1.2.1: CAN kontrol birimi şematığı.	27
4.1.3.1: LIN kontrol birimi şematığı.	28
4.1.4.1: 12V regülatör birimi şematığı.	29
4.1.5.1: 12V güç çıkışı kontrol devresi.	30
4.1.5.2: 5V güç çıkışı kontrol devresi.	30
4.1.6.1: Giriş-çıkış birimi şematik tasarımı.	32
4.1.7.1: Gerilim okuma birimi şematığı.	34
4.1.8.1: BYS röle bağlantı şeması.	35
4.1.8.2: Röle kontrol devresi-1	36
4.1.8.3: Röle kontrol devresi-2	36
4.1.9.1: Ana kart adres ayarlama şematığı	37
4.1.10.1: Ana kart adres ayarlama şematığı.	39
4.1.11.1: EEPROM birimi şematığı.	39
4.2.1.1: Çocuk kartın blok şeması.	41
4.2.2.1: LIN kontrol birimi şematığı.	42
4.2.3.1: 3.3V Buck/Boost regülatör birimi şematığı.	43
4.2.3.2: 5V Buck/Boost regülatör birimi şematığı.	44
4.2.4.1: Batarya şarj birimi şematığı.	45
4.2.5.1: LIN haberleşmesi izolatör şeması.	46

<u>Sekil:</u>	<u>Sayfa</u>
4.2.5.2: Çocuk kart ve ana kart sinyalleri izolatör şematiği	47
4.2.5.3: Forward regülatörü aktifleştirme sinyali şematiği	48
4.2.5.4: Optokuplör güç anahtarı şematiği	48
4.2.6.1: Çocuk kartı akım okuma birimi şematiği	49
4.2.7.1: Çocuk kart analog gerilim okuma birimleri	50
4.2.8.1: LM5015M için blok şematik [29].	51
4.2.8.2: Forward regülatör feedback devresi	52
4.2.8.3: LM5015M besleme devresi.	53
4.2.8.4: Forward regülatörü enable kontrolü	53
4.2.8.5: LM5015M ENABLE pini kontrol şematiği.	54
5.1.1: 12V çıkışı – DC (V-t)	56
5.1.2: 12V çıkışı – AC(V-t).	56
5.1.3: 5V çıkışı – DC (V-t).	56
5.1.4: 5V çıkışı – AC (V-t).	57
5.1.5: 3.3V çıkışı – DC (V-t).	57
5.1.6: 3.3V çıkışı – AC (V-t).	57
5.1.7: Ana kartın akım ölçümleri yapılırken.	58
5.2.1: Çocuk kart pil soketinden beslenirken	59
5.2.2: Çocuk kartı 3.3V regülatör çıkışı (V-t).	60
5.2.1: Forward regülatör kartı.	61
5.3.2: Forward regülatör kartı test düzeneği.	62
5.3.3: Forward regülatör çıkışı – DC (V-t).	62
5.3.4: Forward regülatör çıkışı – AC (V-t).	63
6.1.1: LIN 9600 baud haberleşme test sonucu.	65
6.1.2: LIN 4800 baud haberleşme test sonucu.	65
6.1.3: LIN 2400 baud haberleşme test sonucu.	65
6.1.4: LIN 1200 baud haberleşme test sonucu.	66
6.3.1: Çıkıştan akım çekilmezken akım ölçüm sonucu.	67
6.3.2: Akım ölçüm sonucu.	68
6.4.1: Sabit gerilim şarj testi.	69
6.4.2: Sabit akım şarj testi.	69

<u>Şekil:</u>	<u>Sayfa</u>
6.5.1: Akım geçmiyorken akım trafosundan okunan ortalama akım.	70
6.5.2: 1A akım geçiyorken akım trafosundan okunan ortalama akım.	70
8.1: Test Düzeneği Genel Blok Şeması	74
8.2: Akım kaynağı devre şeması.	75
8.3: Test düzeneği.	76
8.4: Pil şarj-deşarj döngüsü, akım-gerilim grafiği.	77

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo:</u>	<u>Sayfa</u>
2.7.3.1 Aktif ve pasif dengeleme tekniklerinin karşılaştırma tablosu	11
5.2.1: Pil Gerilimi-Çekilen Akım Tablosu	60
7.2.1: Çocuk kartın harcadığı güç miktarları.	72
8.1: Ana Kart Maliyet Tablosu.	78
8.2: Çocuk Kart Maliyet Tablosu.	79
8.3: Forward Regülatör Kartı Maliyet Tablosu.	79

1. GİRİŞ

Küresel ısınma çağımızın en büyük sorunlarından biridir. Bilim insanlarının bu konuda yaptığı araştırmalar dünyamızı kendi ellerimizle daha yaşanmaz duruma sürüklediğimizi göstermektedir. Küresel ısınma yeryüzü sıcaklığının her on yılda ortalama 0,3 °C artmasına sebep olmaktadır. Bu da yılda ortalama 150.000 insanın ölümüne neden olmaktadır. Yeryüzü sıcaklığının ortalama 2 °C artması, milyonlarca insanı açlık, sıtma, sel felaketleri ve tatlı su kıtlığıyla karşı karşıya bırakacaktır [1].

Artık tüm dünya bu konuda bir şeyler yapılması gerektiğinin farkındadır. Yönetmenlikler değiştirilip, yeni yönetmenlikler hazırlanmakta, kanunlar değiştirilip cezalar arttırılmakta ve hepsi atmosfere salınan sera gazlarının miktarını azaltmak için yapılmaktadır.

Atmosfere salınan sera gazlarının azaltılması için alınabilecek bir çok önlem bulunmaktadır. Bunlardan biri fosil yakıtların kullanımını azaltmaktır. Şu anda Dünya'da ortalama 1 milyar araç bulunmaktadır ve bu araçların büyük bir bölümü fosil yakıt kullanmaktadır. En fazla araç ABD ve Çin'de bulunmaktadır [2]. ABD'de yapılan bir araştırma, ABD'de elektrikli bir aracın fosil yakıt kullanan bir araca göre ortalama %27 oranında daha az küresel ısınmaya sebep olacak kirlilik yarattığını göstermektedir [3]. Tabii ki bu oran elektrikli aracın tamamen yenilebilir enerji ile üretilmiş elektrikle şarj edilmesi durumunda daha da artmaktadır. Bu sebepten dolayı dünyanın gözü elektrikli araçlara dönmüş durumdadır.

Henüz elektrikli araçlar insanların güç ve hız isteklerine tam olarak cevap veremese de hızla gelişmeye devam etmektedir.

Elektrikli araçlar günümüzde yeni gündeme gelmiş gibi gözükse de aslında tarihteki ilk motorlu araç bir elektrikli araçtır. İlk elektrikli araç 1873

yılında yapılmıştır. Buna rağmen ilk içten yanmalı motor kullanan araç ise 1886 yılında yani elektrikli aracın icadından 13 yıl sonra yapılmıştır. [4]

Fakat elektrikli araçların maksimum hızlarının içten yanmalı motorlara göre daha az olması, fiyatlarının daha yüksek ve menzillerinin yeterince uzun olmaması sebebiyle elektrikli araçlar üzerine yapılan araştırmalar zamanla azalmaya başlamıştır.

Elektrikli araçların önündeki en önemli engellerden biride o zamanki batarya sorunu. Çünkü bataryalar araçların istenen mesafede yol almalarını sağlayacak kadar güçlü değillerdi ve ayrıca çok da ağırlardı. Hatta bataryaları geliştirmek ve o zamanki zayıflıklarını azaltmak için Thomas Edison kendi bütçesinden 1 milyon dolar harcadı. Fakat aracın menzilini ancak 160 km'ye kadar çıkarabilmişti [5].

Günümüzde elektrikli araçların başlıca zayıf noktalarından birisi olan menzil sorununu çözmek için hala araştırmalar yapılmaya devam edilmektedir. Özellikle bataryalardaki teknolojik gelişim elektrikli araç endüstrisinde devrime sebep olmuştur ve olmaya da devam edecektir. Pillerin gelişmesi, enerji depolama kapasitelerinin artması ve ağırlıklarının azalması elektrikli araçların otomotiv dünyasındaki hâkimiyetini çok daha güçlendirecektir.

Üretiminin yaygın olması ve enerji yoğunluğunun yüksek olması nedeniyle genelde elektrikli araçlarda Lityum-İyon piller kullanılmaktadır. Mesela Renault Fluence Z.E.[7], Nissan Leaf[8] ve Ford Focus Electric[9] araçları batarya paketlerinde Lityum-İyon piller kullanılan araçlardandır.

Fakat Lityum-İyon piller gibi yeni nesil gelişmiş piller, şarj-deşarj döngülerinde diğer pillere nazaran daha fazla kontrol gerektirir. Bu da bataryalara şarj-deşarj kontrol devreleri eklenmesini ve bu devrelerin birbirleriyle sistematik bir şekilde çalışmasını gerektirir. Bu gereklilik

bataryaların kullanımında hayati bir organ olan Batarya Kontrol Sistemlerini (BYS) ortaya çıkartmıştır.

Bu tez, elektrikli araçların önemli kısımlarından biri olan ve araştırılmaya ve geliştirilmeye en az piller kadar ihtiyaç duyulan BYS'ler hakkında yazılmıştır. BYS hakkında genel bilgiler verildikten sonra Lityum-İyon piller için tasarlanan BYS'nin donanımsal tasarım bilgileri verilecektir.

2. BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ (BYS)

Batarya Yönetim Sistemleri (BYS), temel olarak bataryaların şarj ve deşarj işlemleri sırasında akım ve gerilim denetimlerini yapmaktadır. Bataryaların kullanım ömürlerini uzatmak ve verimini arttırmak için tasarlanmıştır. BYS'ler gerektiğinde akülerin şarj durumlarını ve sıcaklıklarını raporlayabilir, onları yüksek akımdan, yüksek gerilimden ve düşük gerilimden korur, doğru ve güvenilir bir şekilde şarj edilmelerini ve güvenilir bir şekilde kullanılmalarını sağlar [10].

Bir BYS bataryaların aşağıdaki özelliklerini izler:

- a) **Gerilim:** Periyodik olarak toplam batarya gerilimini ve her batarya hücrenin gerilimini izler.
- b) **Akım:** Şarj olurken ya da kullanılırken her batarya hücresinden ve bütün batarya paketinin üzerinden geçen akımı izler.
- c) **Sıcaklık:** Bataryaların ortalama sıcaklığını ve her batarya hücrenin sıcaklığını izler.
- d) **Batarya Amper-Saat (Ah) Seviyesi:** Bataryanın şarj olurken ya da kullanılırken ki mevcut Ah değerini izler.
- e) **Batarya Ömrü:** Akünün o anki sağlığını izler. SOH (State of Health) diye ifade edilir ve % olarak hesaplanır. Teoride bir bataryanın fabrika çıkışında SOH değer %100 dür ve zamanla azalır.
- f) **Hava Akışı:** Hava soğutmalı batarya paketlerinde hava akışını kontrol eder.

BYS, bataryalardan çekilen toplam Ah miktarını, bataryalarda kalan Ah miktarını, SOH değerini ve ne kadar sürelik enerjisinin kaldığını hesaplayabilir.

Ayrıca bir BYS bataryayı yüksek akımdan, şarj olurken yüksek gerilimden, deşarj olurken düşük gerilimden, yüksek sıcaklıktan ve gerekirse de düşük sıcaklıktan korur.

BYS'de haberleşme için CAN, UART, RS485, I2C veya kablosuz haberleşme protokolleri bulunabilir. I2C'yi sensörlerle haberleşmek için, CAN ve RS485'i diğer birimlerle haberleşmek için ve UART ve kablosuz haberleşmeyi de genel amaçlı olarak kullanabilmektedir.

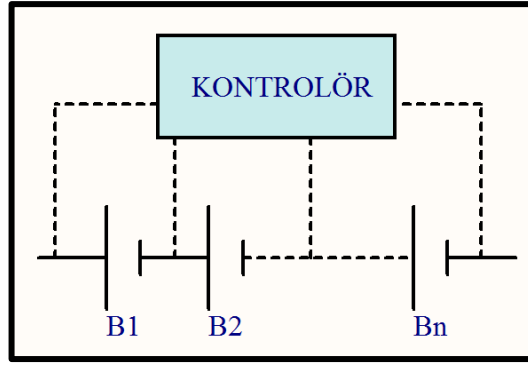
BYS'nin en önemli önceliği bataryanın verimli kullanılmasını sağlamak ve bataryanın ömrünü korumaktır. Bunun için öncelikli olarak batarya şarj olurken, batarya hücrelerini çok şarj etmekten veya az şarj etmekten korur. Şarj esnasında batarya hücrelerinin aynı miktarda şarj olmaları önemlidir. Bunun için BYS'lerde bir dengeleme sistemi bulunmaktadır. Bu dengeleme sisteminin amacı şarj sonucunda her batarya hücrelerinin eş miktarda şarj edilmiş olmasını sağlamaktır. Bunun için çok şarj olmuş hücrelerdeki enerjiyi boşa harcayabilir ya da fazla enerjiye sahip hücrelerden enerjiyi bir dengeleyici sistem kullanarak az şarj olmuş hücrelere aktarabilir.

2.1. BYS Topolojileri

Genel olarak üç çeşit BYS topolojisi bulunmaktadır [11].

2.1.1. Merkezi Kontrol Topolojisi

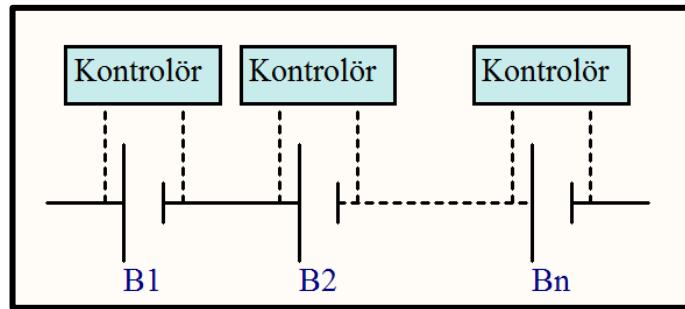
Bu topolojide tek bir kontrolör vardır ve bataryalara kablolar yardımıyla bağlanır. Elektronik ünitenin sadece bir adet olması bu topolojinin en ucuz topoloji olmasını sağlar. Fakat çok sayıda kablo kullanıldığından kurulumu zordur. Şekil 2.1.1.1'de tipik bir merkezi kontrol topolojisi şeması verilmiştir.



Şekil 2.1.1.1: Merkezi Kontrol Topolojisi Şeması

2.1.2. Dağılmış Kontrol Topolojisi

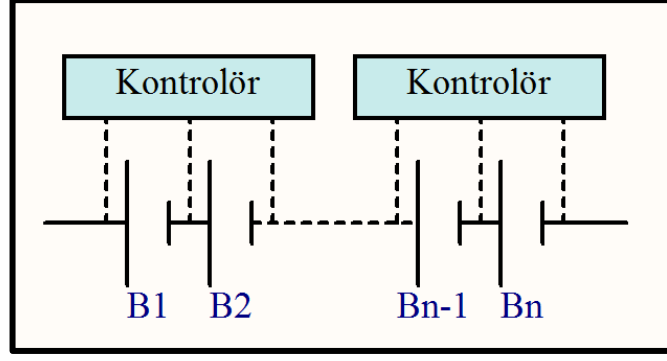
Bu topolojide her batarya hücresine bir kart bağlanmıştır ve bütün sistem kontrolöre tek bir haberleşme hattı üzerinden bağlıdır. Az sayıda kablo kullanıldığından dolayı kurulumu çok kolay ve yapısı çok esnektir. Çok sayıda kart gerektirdiğinden dolayı diğerlerine göre daha pahalıdır. Şekil 2.1.2.1'de tipik bir dağılmış kontrol topolojisi şeması verilmiştir.



Şekil 2.1.2.1: Dağılmış Kontrol Topolojisi Şeması

2.1.3. Modüler Kontrol Topolojisi

Birkaç sayıda kontrol ünitesi vardır ve her biri birkaç batarya hücresini kontrol eder. Diğer iki topolojinin faydalarının toplandığı topolojidir fakat kullanıldığı yere göre diğerlerinden daha kullanışlı ya da daha kullanışsız olabilir. Şekil 2.1.3.1'de tipik bir modüler kontrol topolojisi şeması verilmiştir.



Şekil 2.1.3.1: Modüler Kontrol Topolojisi Şeması

2.2. Lityum-İyon Bataryalarda Dengeleme Teknikleri

Seri olarak bağlanmış bataryalardan oluşan bir batarya sisteminde, sistemden çekilebilecek toplam Ah miktarını en az enerjiye sahip batarya belirler [12]. Bunun en önemli sebebi bataryanın kullanılmaz hale gelmemesi için konulmuş minimum gerilim sınırındır. Yani 5Ah'lik şarj edilmiş bir batarya ile 10Ah'lik şarj edilmiş özdeş iki batarya seri bağlanırsa sistemden çekilebilecek toplam Ah miktarı 5Ah'tir ve bataryalardan başta 10Ah'lik şarja sahip olan bataryada kullanılmayan bir 5Ah'lik enerji kalacak demektir. Bu sorunu çözmek için batarya dengeleme yöntemleri geliştirilmiştir. Yukarıda verilen örnekteki özdeş bataryalar üzerinde ideal bir dengeleme sistem çalıştırılacak olursa her iki bataryanın şarj miktarı 7.5Ah yapıp, kullanım sonunda kalacak enerji miktarının sıfıra indirgenmesi amaçlanır.

Bu yüzden seri olarak bağlanmış bataryalardan oluşan her batarya sisteminin sahip olması gereken önemli kabiliyetlerden biri batarya dengeleme sistemidir. Batarya dengeleme sistemi, temel olarak her batarya hücrelerinin bu işlem sonucunda aynı enerji miktarına sahip olmasını hedefler. Bataryaların ömrünün uzun olması ve verimli kullanılması için batarya sistemlerinde uygulanması gereken önemli bir işlemdir.

Dengeleme tekniklerinin bir batarya sisteminde uygulanabilmesi için öncelikle her bataryanın sahip olduğu şarj miktarının (SOC) bilinmesi gerekir.

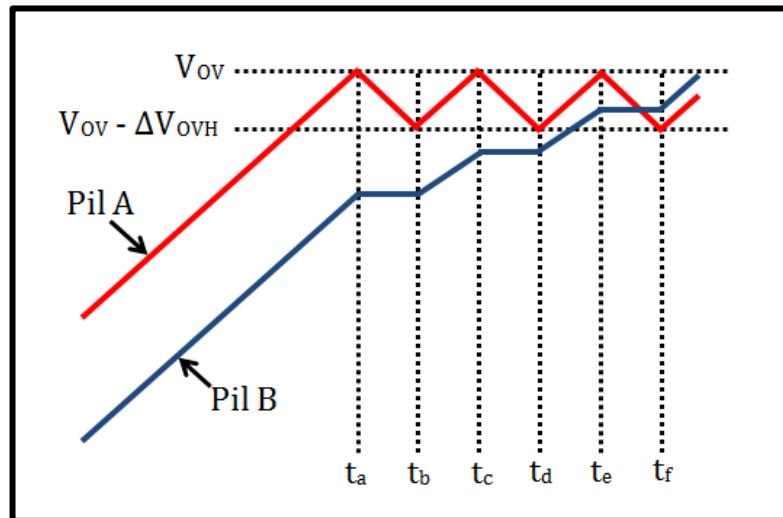
Daha sonra ise uygun bir teknikle bütün bataryaların enerjileri eşit hale getirilir.

Temel olarak kullanılan iki çeşit batarya dengeleme tekniği vardır. Bunlar Aktif Dengeleme ve Pasif Dengeleme teknikleridir [13].

2.2.1. Pasif Dengeleme Tekniği

Pasif dengeleme tekniği fazla enerjinin bir direnç üzerinden ısıya dönüştürülerek uzaklaştırılması mantığına dayanır. Bu işlem şarj işlemi bittikten sonra uygulanırsa en düşük enerjiye sahip olan batarya temel alınarak diğer bataryaların enerjilerinin bu seviyeye indirilmesi amaçlanır. Ayrıca bu dengeleme sistemi şarj sırasında uygulanacaksa bataryalardan biri tam şarj olma seviyesine gelmiş fakat bir başka batarya gelmemişse, şarj bir süreliğine durdurulur ve tüm bataryaların enerjisi paketteki en düşük enerjiye sahip olan bataryanın seviyesine çekilir, daha sonra da şarj işlemine devam edilir.

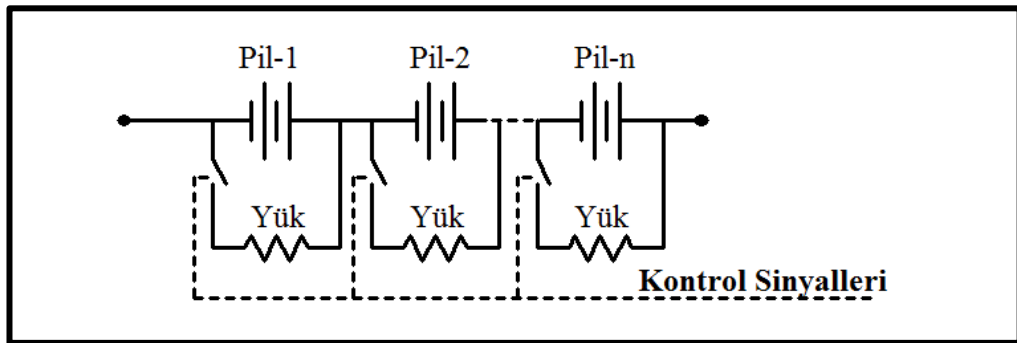
Şekil 2.7.1.1'de pasif dengeleme kullanılarak şarj edilmekte olan iki hücreli bir batarya sisteminde bataryaların gerilimlerinin zamana bağlı değişimi gösterilmektedir.



Şekil 2.7.1.1: Pasif dengeleme sırasında batarya gerilimleri.

Şekil 2.7.1.1'de başlangıçta farklı şarj seviyelerinde olan ve şarj miktarlarının gerilim seviyeleriyle anlaşılabilirdiği türde olan seri bağlanmış iki bataryanın (Pil-A ve Pil-B) şarj edilişi gösteriliyor. Başta daha fazla enerjisi bulunan Pil-A şarj işleminin kesileceği üst noktaya (V_{ov}) Pil-B'den daha önce, t_a anında varıyor. Bu noktada Pil-A ile Pil-B arasındaki enerji farkı fazla olduğundan, şarj işlemi kesilerek Pil-A üzerindeki enerjinin bir kısmı bir yük üzerinden boşaltılıyor ve t_b anında şarj işlemi tekrar başlıyor. Şarj işlemi durdurup Cell-A üzerindeki enerjini bir yük üzerinden boşaltılması işlemi t_c ve t_d arasında ve t_e ile t_f arasında tekrar ediliyor. Şarj işlemi tamamlandığında her iki hücre arasındaki enerji farkı kabul edilebilir bir sınırın altında oluyor.

Şekil 2.7.1.2'de genel bir pasif dengeleme sisteminin blok şeması gösterilmiştir. Kontrol sinyalleriyle anahtarlar gerektiğinde açılarak ilgili bataryanın üzerindeki enerjinin boşaltılması sağlanır.



Şekil 2.7.1.2: Pasif dengeleme genel devre şeması.

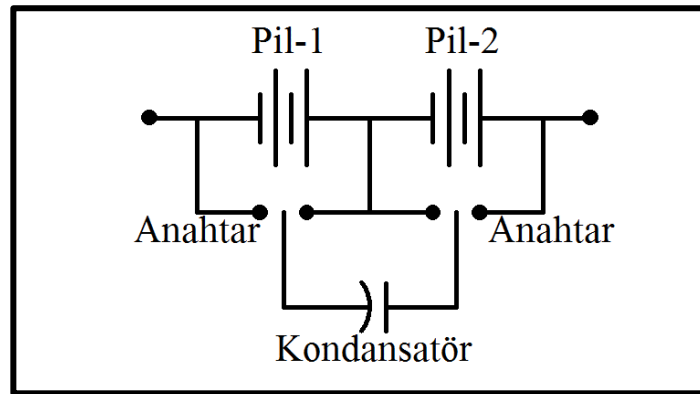
Pasif dengeleme tekniği çok basit olmasına rağmen enerjinin gereksiz yere kullanılmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple verimi düşüktür. Maliyetinin düşük olmasından dolayı da özellikle ucuz sistemlerde tercih edilen bir yöntemdir.

2.2.2. Aktif Dengeleme Tekniği

Aktif dengeleme tekniği, bir batarya sisteminde fazla enerjiye sahip olan bataryanın enerjisinin diğer bataryalara dağıtılması mantığına

dayanmaktadır. Pasif dengelemeye göre verimi daha fazladır. Fakat pasif dengeleme tekniğine göre daha fazla eleman ve daha karmaşık bir algoritma gerektirir.

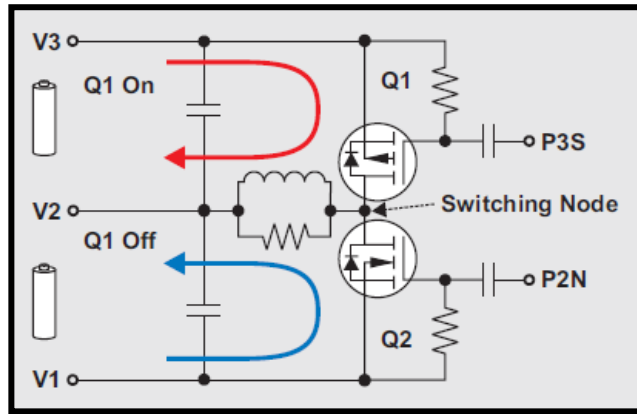
Enerjinin bir bataryadan diğer bataryalara dağıtılması işlemi, anahtarlama kondansatör tekniği (Şekil 2.7.2.1) gibi bir bataryanın örneklenmesi mantığına dayanan tekniklerle yapılabileceği gibi, dengeleme işleminin daha hızlı olmasını sağlayan gerilim yükseltici teknikleri kullanılarak da yapılabilir.



Şekil 2.7.2.1: Anahtarlama kondansatör tekniği.

Anahtarlama kondansatör tekniğinde kondansatörün bacaklarının bağlı olduğu anahtarlar, bataryalardan enerjisi yüksek olan bataryanın enerjisini kondansatörün üzerine depolayacak şekilde sola ya da sağa çekilir. Mesela özdeş iki batarya olan B1 ve B2 bataryalarıyla oluşturulmuş bir sistemde, B2 bataryasının enerjisinin B1 bataryasından yüksek olduğunu farz edelim. Bu durumda B2'nin enerjisinin bir kısmını B1'e aktarmamız gerekecektir. Bunun için önce anahtarlar 1 numaralı konuma getirilir ve B2'deki enerjinin bir kısmı kondansatöre aktararak kondansatör geriliminin B2'nin gerilimine eşit olması sağlanır. Daha sonra anahtarlar 2 numaralı konuma getirilerek gerilimi yüksek olan kondansatörden B1 bataryasına enerjinin bir miktarının transfer edilmesi sağlanır. Kondansatörden B1 bataryasına enerjinin transferi işlemi tamamlandıktan sonra bu işlem döngüsü iki özdeş bataryanın enerjileri (eğer bataryalar özdeş değilse sadece gerilimleri) eşit olana kadar devam eder.

Anahtarlama kondansatör tekniğinin diğer tekniklere göre daha kolay olmasına ve daha iyi bir dengeleme sağlamasına rağmen yavaş sonuç vermesinden dolayı kullanımı azdır. Dengeleme işlemlerinin daha hızlı sonuç vermesi için gerilim yükselteçleriyle de dengeleme işlemi yapılabilmektedir. Şekil 2.7.2.2'de PowerPump [14] tekniği denen bir gerilim yükselteci devresi kullanılarak yapılan dengeleme işleminin blok şeması gösterilmiştir. Bu yöntemde bir pildeki enerji boost regülatör yapısı kullanılarak bir başka bataryaya aktarılmaktadır.



Şekil 2.7.2.2: PowerPump tekniğinin blok şeması [14].

2.2.3. Her İki Dengeleme Sisteminin Karşılaştırılması

Tablo 2.7.3.1 Aktif ve pasif dengeleme tekniklerinin karşılaştırma tablosu

AKTİF DENGELEME TEKNİĞİ	PASİF DENGELEME TEKNİĞİ
Fazla enerjiyi diğer bataryalar üzerine gönderir.	Fazla enerjiyi ısı ile boşa harcar.
	Sistemin gereksiz yere ısınmasına sebep olur.
Karmaşıktır. Çok sayıda kontrol elemanına ihtiyaç duyar.	Basittir. Az sayıda elemanla gerçekleştirilebilir.
Kullanılan elemanların fazlalığından dolayı uzun süre uykuda bekleyen sistemlerde pasif dengeleme daha	

verimli olabilir.	
Ortalama cell başına 10 birimlik maliyeti vardır [15].	Ortalama cell başına 1 birimlik maliyeti vardır [15].
Uykuda harcadığı enerji yaklaşık 50mW [15].	Uykuda harcadığı enerji 0mW a çok yakın [15].
Yüksek akımlar transfer edildiğinden pasif dengelemeye göre kısa sürer.	Düşük akımlar transfer edildiğinden aktif dengelemeye göre uzun sürer.
Bir elektrikli otomobil için ortalama maliyeti yaklaşık 1000 birimdir [15].	Bir elektrikli otomobil için ortalama maliyeti yaklaşık 100 birimdir [15].

3. TASARLANAN BATARYA YÖNETİM SİSTEMİNİN ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde bu tez kapsamında yapılan BYS'nin tasarım özellikleri anlatılacaktır. Bu tezin kapsamı aşağıda özellikleri anlatılan BYS'nin donanımını tasarlamaktır. Bu yüzden donanım anlatımına başlamadan önce bu donanımın kullanılacağı sistemden kısaca bahsedilmiştir.

3.1. Sistemin Genel Özellikleri

Bir batarya paketinde toplam 12 adet pil olacaktır. Batarya paketlerini paralel bağlanarak sistemin toplam amper-saat kapasitesinin artırılması düşünülmektedir.

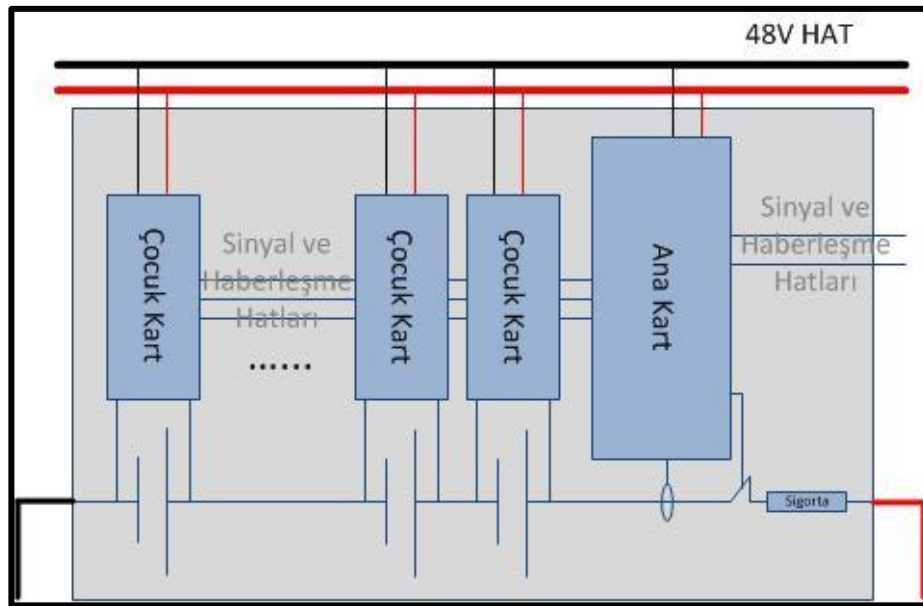
Her batarya paketinde bütün paketi kontrol edecek ve diğer batarya paketleriyle ve sistemle haberleşecek bir ana kart ve her pile bağlı olacak olan ve ilgili pilin gerekli ölçümlerini yapan ve hassas şarj işlemi kontrol edecek olan toplam on iki adet çocuk kart olacaktır.

Pilleri şarj işlemi iki kademeli yapılacaktır. Önce hızlı şarj (bulk charge) için ana hat üzerinden pillere yüksek akım uygulanacak, daha sonra da hassas şarj (fine charge) denilen adımda da pillerin daha hassas şarj edilmesi ve bataryaların dengelenmesi sağlanacaktır. Hassas şarj işleminde piller çocuk kart olarak tanımlanmış olan kartlar tarafından şarj edilecektir. Ayrıca her çocuk kart, kendilerine bağlı pillerin gerilimini ve ısısını sürekli okuyarak tehlike oluşturabilecek bir koşul olduğunda ana kartı ve dolayısıyla da kullanıcıyı uyaracaktır.

Şekil 3.1.1'de bir batarya paketi için sistemin basit blok şeması gösterilmiştir. Şekilde gözüktüğü üzere tüm batarya paketinden geçen akımı ana kart bir akım trafosu üzerinden okuyabilmektedir. Bu sayede hızlı şarj

sırasında ve deşarj sırasında toplam geçen akım miktarı amper-saat olarak hesaplanabilmektedir. Ayrıca bir sebepten dolayı batarya paketinin hattan koparılması gerektiğinde normalde kapalı olan röleyi açarak bataryalar hattan koparılır. Normalde kapalı olan bir rölenin kullanılmasının sebebi normal çalışma koşullarında enerji harcanmasını engellemektir.

Ana kart ve ana karta bağlı olan çocuk kartlar 48V gerilime sahip bir güç hattından beslenmektedirler. Bu hat üzerinde sürekli gerilim bulunmaktadır. Bu sayede eğer deşarj sırasında pillerden biri bilinmeyen bir sebepten dolayı daha fazla güç kaybedip, deşarj alt gerilim noktasına diğer pillere göre daha fazla yaklaşırsa ilgili bataryayı kontrol eden çocuk kart devreye girer ve batarya ile birlikte paralel olarak kendisi de hatta akım basarak bataryaya destek olur. Bu sayede batarya paketindeki pillerin enerjilerinin tamamının kullanılması hedeflenmektedir. Bu yöntemle batarya paketleri arasında dahi enerji transferi mümkün hale gelmektedir.



Şekil 3.1.1: BYS'nin basit blok şeması.

Her iki kartın görevlerini şu şekilde sıralamak mümkündür.

Ana kartın görevleri:

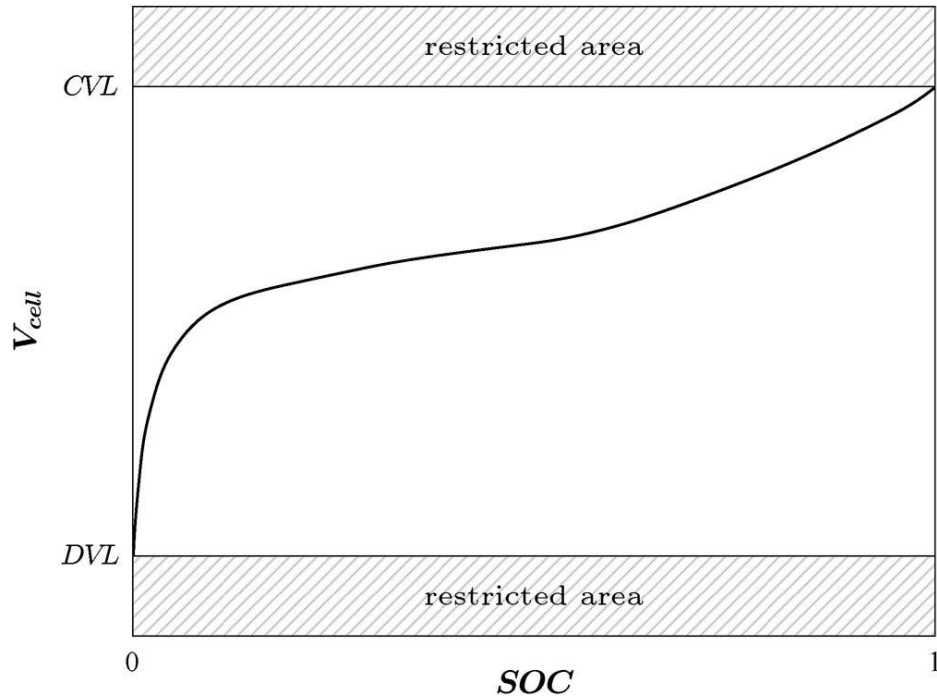
- Hızlı şarj sırasında piller üzerinden geçen akım miktarını ölçmek,
- Hızlı şarj sırasında pillere depolanan toplam Ah bilgisini hesaplamak,
- Deşarj sırasında pillerden çekilen akım miktarını ölçmek,
- Deşarj sırasında pillerden çekilen toplam Ah bilgisini hesaplamak,
- Batarya paketine depolanan ve batarya paketinden çekilen toplam şarj miktarlarından batarya paketinin % olarak ne kadarlık enerjisinin kaldığını (State of Charge -SOC- değerini) hesaplamak,
- Tehlike durumunda batarya paketinin bağlantısını ana hattan koparmak,
- Batarya paketinin şarj ve deşarj döngülerinin kayıtlarını tutmak,
- Çocuk kartlara şarj işlemine başlama komutunu göndermek,
- Çocuk kartların uyuma ve uyanma sürelerini kontrol etmek,
- Çocuk kartlardaki kayıtların sisteme gönderilmesini sağlamak.

Çocuk kartın görevleri:

- Bataryanın gerilimini okumak ve zaman tabanlı kaydını yapmak,
- Bataryanın sıcaklığını okumak ve zaman tabanlı kaydını yapmak,
- Hassas şarj işlemi sırasında bataryanın çektiği akımı okumak ve zaman tabanlı kaydını yapmak,
- Hassas şarj işlemi sırasında bataryanın çektiği akımı Ah olarak hesaplamak ve zaman tabanlı kaydını yapmak,
- Hassas şarj işlemi sırasında bataryanın çektiği akımın belirlenen üst sınırı geçmemesini sağlamak,
- Bataryanın geriliminde, sıcaklığında ya da çektiği akımda kontrol dışı bir durum oluşursa ya da tehlike oluşturabilecek bir durum varsa bunu ana karta bildirmek,
- Deşarj sırasında çocuk kartın ilgili olduğu bataryanın gerilimi deşarj alt gerilim (Discharge Voltage Limit -DVL-) noktasına diğer bataryalara oranla daha çok yaklaşırsa bataryanın enerjisini koruyabilmek için batarya ile birlikte hatta akım basmak ve mümkün olan zamanlarda bataryayı şarj etmek. Bu şekilde bataryanın enerji seviyesinin diğer pillere yetişmesini sağlamak.

3.2. Pil Dengeleme Yöntemi

Bu sistemde pil dengeleme işlemi hassas şarj esnasında yapılması planlanmaktadır. Normal koşullarda özdeş enerjiye sahip bataryaların, hızlı şarj işlemi sonrasında da özdeş enerjiye sahip olması beklenir. Dengeleme işlemi özellikle özdeş enerjiye sahip olmayan bataryalar kullanılarak bir batarya paketi oluşturulduğunda gerekli olmaktadır. Bu durumda sistem şu şekilde davranacaktır. Önce hızlı şarj işlemi ile pillerin gerilimlerinin artışı izlenecek ve bataryalardan en az birinin belirlenen üst gerilim noktasına ulaşması beklenecektir. Pillerden en az biri üst gerilim noktasına ulaştığında hızlı şarj işlemi sonlandırılarak hassas şarj işlemine geçilecektir. Hassas şarj işlemi ile bataryalara farklı miktarda enerji depolanarak her bir bataryanın eş enerji seviyesine getirilmesi sağlanacaktır. Fakat ilk şarj işlemi sırasında bataryalar üzerindeki enerji miktarı bilinmediğinden bataryaların tamamen dolup dolmadığı gerilimlerine bakılarak anlaşılacaktır. Şekil 3.2.1'de bir Li-Ion pilin şarj-deşarj grafiği verilmiştir.



Şekil 3.2.1: Bir Li-Ion pilin şarj-deşarj sırasındaki pil gerilimi grafiği [16].

Şekil 3.2.1'deki grafikte DVL pilin sağlığı için düşmesine izin verilecek minimum gerilim seviyesini, CVL ise pilin sağlığı için çıkmasına izin verilecek

maksimum gerilim seviyesini ifade etmektedir. Yaptığımız sistemde CVL gerilimi olarak 4.2V, DVL gerilimi olarak da 2.7V kullanılacaktır. Bu durumda farklı enerjilere sahip bataryalar kullanılarak bir batarya paketi oluşturulursa hızlı şarj sırasında pillerden birinin gerilimi 4.2V olduğunda hızlı şarj işlemi sonlandırılarak hassas şarj işlemine geçilecektir. Hassas şarj işleminde her pilin gerilimi 4.2V seviyesine ulaşınca kadar piller birbirlerinden bağımsız olarak şarj edileceklerdir. Hassas şarj işlemi tamamlandığında birbirleriyle yaklaşık olarak özdeş enerjiye sahip (enerji dengeleme işlemi tamamlanmış) bataryalardan oluşan bir paket oluşturulmuş olur.

3.3. Şarj İşlemi

Şarj işlemi iki aşamada yapılmaktadır. Önce hızlı şarj işlemi ile bir kaynak üzerinden pillerin tamamı birden, pillerden herhangi biri belirlenen üst bir gerilim noktasına ulaşınca kadar şarj edilirler. Bilinenin aksine hızlı şarj işlemi Li-Ion pillerde pillerin ömürlerini normal şarja göre daha çok kısaltmazlar. Hızlı şarjın avantajı hızlı şarj ile bir pilin kapasitesinin üçte biri beş dakika içerisinde şarj edilebilir [17].

Hızlı şarj işlemi tamamlandıktan sonra hassas şarj işlemine geçilmektedir. Hassas şarj işleminde, kaynak devreden çıkarak çocuk kartlar devreye girerler ve her pil ayrı ayrı çocuk kartlar üzerinden şarj edilir. Çocuk kartlar pilleri sabit akım - sabit gerilim (İng. Constant Current, Constant Voltage -CCCV-) denilen bir yöntemle şarj ederler. Bu yöntemde şarj işlemi hem maksimum bir akıma hem de maksimum bir gerilime sınırlandırılmıştır. Pil belirlenen maksimum akımdan daha yüksek bir akım çekerse şarj gerilimi düşürülerek çekilen akım miktarının düşmesi sağlanır. Batarya şarj oldukça üzerindeki gerilim artar ve bir süre sonra set edilen üst akımdan daha düşük akım çekmeye başlar. Bu durumda da şarj gerilimi sabit tutularak bataryaya yüksek gerilim uygulanması engellenir. Bataryanın çektiği akım belirlenen bir miktarın altına düştüğünde şarj işlemi sonlandırılır.

Bu işlem piller tamamen şarj oluncaya kadar devam eder. Şarj işlemi boyunca her pilde depolanan enerji miktarı Ah olarak hesaplanıp daha sonra deşarj işlemi sırasında kalan enerjinin hesaplanması ve pilin sağlık durumu için kullanılmaktadır.

3.4. Deşarj İşlemi

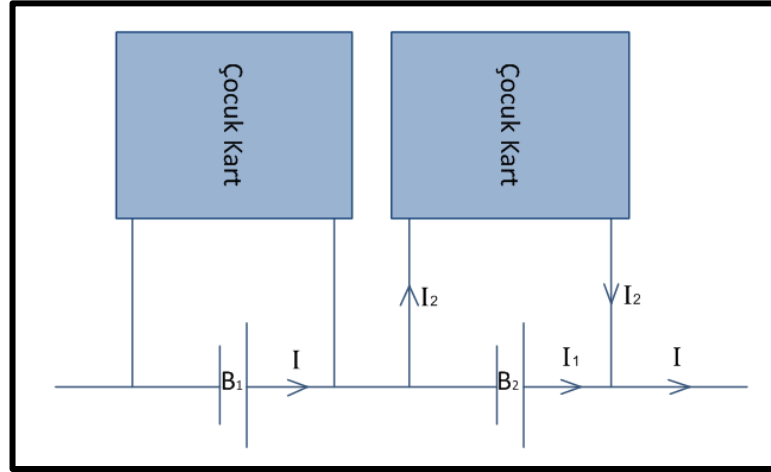
Batarya paketlerinin kullanımları sırasında çocuk kartlar genelde uykudadır ve pilin gerilimini ve sıcaklığını kontrol etme amaçlı ana kart tarafından kurulan bir periyotta uyanıp ölçümlerini yapıp tekrar uyurlar. Ayrıca ana kart çocuk kartlardan ölçüm raporlarını periyotundan daha önce isteyeceği zaman hat üzerinden gönderdiği bir sinyalle çocuk kartları uyandırarak gerekli bilgileri çocuk kartlardan alabilir. Daha sonra çocuk kartlar tekrar kurulan periyotta uyumaya devam ederler.

Ana kart çocuk kartların sorunsuz olarak çalıştığını denetlemek için belli aralıklarla çocuk kartlarla haberleşir ve her şeyin yolunda olduğunu kontrol eder. Ayrıca çocuk kartlardan en az biri kurulan bir alarm kesmesi sebebiyle (bu kesme sıcaklık ya da gerilim sebebi olabilir) periyotlarından daha önce uyanırsa ana karta alarm durumu oluştuğunu bildirmek ve ölçüm sonuçlarını ana karta göndermek için ana kart sinyal hattını aktifleştirir. Ana kart, bu hat üzerindeki sinyal aktifleştğinde kritik bir durum oluştuğunu bilir. Sorunun ne olduğunu anlamak için LIN üzerinden ilgili çocuk kartla iletişime geçer. Ölçüm sonuçlarını ve alarm sebebi bilgilerini çocuk karttan alıp gerekirse bütün batarya paketini hattan koparır.

Deşarj sırasında çekilen akımı ana kart hesaplayarak bu bilgiyi kalan şarj miktarını (İng. Depth of Discharge -DOD-) hesaplamak için kullanır.

Ayrıca eğer bataryalardan biri diğerlerine göre daha fazla enerji kaybetmişse ilgili bataryayı denetleyen çocuk kart bataryayı destekleyerek enerjisinin diğer bataryalarla aynı seviyeye gelmesini sağlar.

Şekil 3.4.1’de, enerjisi azalmış B2 bataryasının çocuk kart tarafından enerjisinin nasıl korunduğunu gösteren bir blok diyagram verilmiştir. Çocuk kartların batarya üzerinde uyguladıkları bu fonksiyona Enerji Koruma Modu (EKM) ismi verilmiştir.



Şekil 3.4.1: Batarya EKM blok diyagramı.

Şekil 3.4.1’de görüldüğü üzere batarya paketinden geçen akım I amper, çocuk kartın sağladığı ek akım I_2 amper ve B_2 bataryasından geçen akım ise I_1 amperdir. Akımlar için $I = I_1 + I_2$ bağıntısı vardır. t süresi sonunda batarya paketindeki EKM uygulanmayan bataryalardan çekilen şarj miktarı $t \cdot I$ kadar iken EKM uygulanan B_2 bataryasından çekilen şarj miktarı $t \cdot I_1$ kadardır. $I_1 < I$ olduğundan EKM’nin uygulandığı süre zarfında B_2 bataryasının gerilim seviyesinin DVL noktasına gelmediği farz edilirse bir t_x süresi sonunda B_2 bataryasının enerjisi diğer bataryaların enerjisi ile aynı olur. Bir başka deyişle bataryalar tekrar dengelenmiş olur.

EKM’de kullanılan enerji 48V hattından çekilir. 48V hattındaki enerji deşarj süresi zarfında batarya paketleri tarafından sağlanır. Bir başka deyişle EKM’de bataryaya aktarılan enerji diğer bataryalardan sağlanır. Bu sebepten EKM sadece bir bataryaya uygulanacağı gibi bütün bir batarya paketine de uygulanabilir. Bu durumda EKM ile enerji bir batarya paketinden başka bir batarya paketine aktarılabilir.

3.5. SOC/DOD Hesabı Algoritması

SOC bataryaların şarj işlemi sırasındaki şarj oranı, DOD ise bataryaların deşarj işlemi sırasında kalan şarj oranı demektir. Bu oranları hesaplamak için bazı yöntemler mevcuttur. Yük sayma yöntemi, açık devre gerilim yöntemi ve kalman filtresi ile kullanılan bulanık mantık(fuzzy lojik) yöntemi bu yöntemlerden bazılarıdır [18].

Açık devre gerilim yönteminin kullanılabilmesi için bataryanın ya devreden çıkarılması ya da bataryadan sürekli sabit akım geçmesi gerekmektedir. Bu yüzden bu yöntem BYS için uygun değildir. Bulanık mantık yönteminin kullanılabilmesi için bataryaya ait yüksek miktarda geçmiş verisi gerekmektedir. Ayrıca yüksek bir işlem yoğunluğu bulunmaktadır. Bu yöntemde BYS için pek uygun değildir[19]. Bu yüzden tasarlanan sistemde en basit yöntem olan akım sayma yöntemi kullanılacaktır.

Akım sayma yöntemi temelde Ah bilgisinin hesaplanmasına dayanır. Kapasitesi bilinen bir bataryanın şarj doluluk oranı Eşitlik 3.5.1'de gösterilmiştir. Eşitlik 3.5.1'de payda yer alan '*ŞarjEdilmeMiktarı*' değeri pilin o ana kadarki şarj edilmiş Ah miktarını belirtir. SOC hesabı pilin şarj edilmesi sırasında geçerlidir.

$$SOC = \frac{\text{ŞarjEdilmeMiktarı}(Ah)}{\text{PilinKapasitesi}(Ah)} \cdot 100 \quad (3.5.1)$$

Aynı işlem DOD hesaplaması içinde geçerlidir. DOD hesabı için kullanılan eşitlik ise Eşitlik 3.5.2'de verilmiştir. Eşitlikteki '*ŞarjEdilmeMiktarı*' pilin deşarj işlemin başlamadan önce pile yüklenen şarj miktarıdır. '*KullanılanŞarjMiktarı*' ise kullanılmış olan şarj miktarını ifade etmektedir. DOD hesabı deşarj işlemi sırasında hesaplanmaktadır.

$$DOD = \frac{\text{ŞarjEdilmeMiktarı}(Ah) - \text{KullanılanŞarjMiktarı}(Ah)}{\text{PilinKapasitesi}(Ah)} \cdot 100 \quad (3.5.2)$$

Fakat pilin yaşı arttıkça kapasitesi azalacaktır. Bu durumda '*PilinKapasitesi(Ah)*' pilin en son tam şarj edilme sırasında toplam yüklendiği enerji değeriyle yer değiştirmelidir. Bu algoritmanın çalışması için öğrenen bir BYS gerekir. Bu işlemi de tasarlanan sistemde ana kart yüklenecektir.

3.6. SOH Hesabı

SOH (State of Health) bilgisi pilin ömrünü belirtir. Pillerin ömürleri azaldıkça kapasiteleri de azalmaktadır. Pilin normal kapasite değeri kullanıcı tarafından ana karta bildirilir. Ana kart şarj-deşarj döngülerinde batarya paketinin ne kadar enerjiyle dolduğunu ve ne kadar enerji geri verebildiğini hesaplayarak bir değer ortaya çıkartır. Bu değer pillerin SOH hesabında kullanılır.

3.7. Batarya Sıcaklığını Okuma

Tasarlanan sistem batarya sıcaklığını NTC/PTC türü bir eleman üzerinden okur. Bu yüzden kullanılan NTC/PTC elemanının bataryaya temas etmesi gerekmektedir. Bağlantılar ise çocuk kartın üzerindeki konektör ile sağlanır.

3.8. Adresleme Yapısı

Her ana kartın ve her çocuk kartın 4'er bitlik bir adresi vardır. Her iki adres birleştirildiğinde oluşan 8 bitlik adres sistemde belli bir kartı ifade eder. Toplam bir sistemde 16 farklı batarya paketi bulunabilir. Her bir batarya paketinde 12 adet batarya olacağından toplamda sistemde maksimum 192 adet batarya bulunabilir.

Çocuk kartların adresleri 1 den başlar. 0 değeri ana karta atanmıştır. Yani 0x10 adres değeri 0x01 adres değerine sahip ana kartı belirtir. 0x11 adres değeri ise 0x01 ana kartına bağlı olan 0x01 adresli çocuk kartı belirtir.

3.9. Kayıt Tutma Özelliği

Her çocuk kartın ve her ana kartın üzerinde kayıtların tutulması için bir EEPROM bulunmaktadır. İşlemciler uykuya geçmeden önce kayıtları EEPROM'a yazarak bilgilerin kaybolmasını engellerler.

3.10. Haberleşme

Sistemde ana kart ile o ana kartın kontrol ettiği çocuk kartlar arasında, çocuk kartların kendi arasında ve ana kartların kendi arasında haberleşme işlemi yapılabilmektedir. Fakat çocuk kartlar arasındaki haberleşme, donanımsal olarak mümkün olsa da, gerekli olmadığından kullanılmamaktadır. Ana kart ile çocuk kartlar arasındaki haberleşme LIN hattı üzerinden, ana kartlar arasındaki haberleşme ise CAN hattı üzerinden yapılmaktadır. Ayrıca CAN hattına harici bir cihaz takılarak sistemle ilgili gerekli bilgiler ana kartlardan alınabilir. Bu özellik bir bilgisayar üzerinden sistemin, her pilin akım, gerilim, sıcaklık bilgisi gibi bilgilerin, izlenmesine ve denetimine olanak sağlar.

Bir batarya paketinin içindeki haberleşmede LIN kullanılmasının sebebi diğer haberleşme türlerine oranla daha az enerji gerektirmesi ve sadece tek hat üzerinden çift taraflı haberleşmenin mümkün olmasıdır. Bu hem enerji tasarrufu sağlar hem de kablo kalabalığını azaltır. Fakat bu haberleşmenin genelde kullanılan SPI'a göre dezavantajı ekstra bir sürücü entegresinin kullanılması gerektiğidir.

Harici haberleşme için CAN kullanılmasının sebebi, gürültüye karşı olan bağışıklığının yüksek olması ve sadece iki kabloyla birden fazla cihazın birbirleriyle haberleşebilmesidir. Fakat dezavantajı ise fazla enerji gereksinimi olmasıdır. Bu yüzden gerekli olmadıkça CAN hattı haberleşmesi yapılmayacaktır. Bu yüzden bilgiler CAN J1939 protokolündeki OnRequest

yapısına uygun olarak yayınlanacaktır. Kullanılması düşünölen CAN protokolü CAN 2.0B 250Kb protokolüdür.

3.11. İzole Edilmiş Regölatör Seçimi

Çocuk kartların ilgili oldukları bataryaları şarj edebilmesi için kullandıkları kaynağın ana hattan izole edilmiş olması gerekmektedir. Standart izole edilmemiş buck regölatör tarzı regölatörler kullanılsaydı pillerin hattan ayrılması gerekirdi. Bunun için izole edilmiş bir regölatör kullanılması kararlaştırılmıştır. Her çocuk kartta bir adet bu regölatörden olacağından az elemanla gerçekleştirilebilen bir regölatör olması daha uygun olacaktır. Bu açıdan forward ve flyback regölatörler ön plana çıkmaktadır. Fakat forward regölatörün veriminin flybacke göre daha fazla olması regölatör seçiminin forward regölatörden yana olmasını sağlamıştır.

3.12. Pil Şarj Devresi

Çocuk kartlar ilgili oldukları bataryaları CCCV yöntemiyle şarj ederler. Bu yüzden şarj işlemi yapılırken geçen akım miktarı da ölçölmelidir. Şarj gerilimi kontrolü içinse bataryanın önünde, işlemci tarafından çıkış gerilimi kontrol edilebilen bir regölatör bulunmalıdır. Regölatörün verimin yüksek olması içinse buck regölatör kullanılmalıdır. Ancak bu şekilde CCCV yöntemi sağlıklı şekilde uygulanabilir.

Şarj işlemi yapılmadığı zamanlar enerji tasarrufu için forward regölatör kapatılır ve çocuk kart bataryanın enerjisini kullanarak çalışmaya devam eder. Çocuk kartın bataryadan çektiği enerjinin miktarı da SOC ve SOH hesaplamalarında kullanılacaktır.

3.13. Akım Okuma Yapısı

Sistemde hem çocuk kartların hem de ana kartın akım okuyabilme özelliği olmalıdır. Çocuk kartların okuması gereken akımın maksimum değeri 3A mertebesinde olduğundan akım okuma için bir shunt direnç kullanılacaktır. Fakat ana kartın okuması gereken akımın maksimum değeri çocuk kartlara göre çok daha fazladır. Enerji tasarrufu ve sistemin ısınmaması için burada shunt direnç yerine akım trafosu kullanılacaktır.

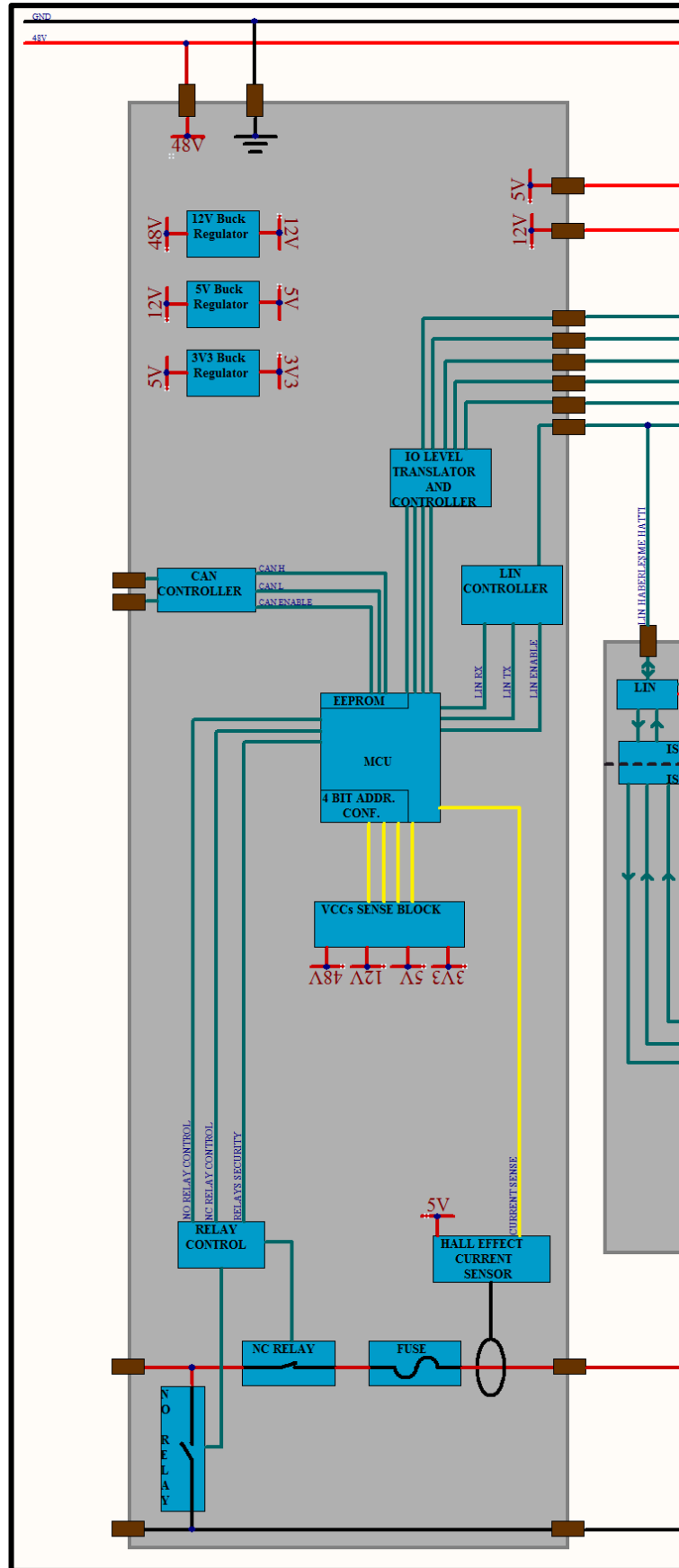
4. ŞEMATİK TASARIMI

Bu bölümde ana kartın, çocuk kartın ve forward regülatör kartının Şematik tasarımları gösterilmiş ve tasarımları sırasında nelerin göz önünde bulundurulduğu açıklanmıştır. 'ops' ön eki ilgili elemanın uygulama sırasında karta dizilmeyeceği anlamına gelmektedir.

4.1. Ana Kartın Şematik Tasarımı

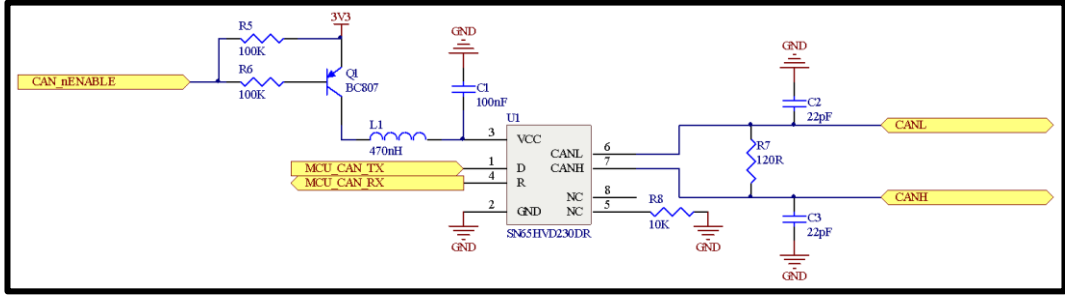
4.1.1. Ana Kartın Blok Şeması

Ana kart üzerinde haberleşme için CAN Kontrol Birimi, besleme için Regülatör Birimi, sinyaller için Giriş-Çıkış Kontrol Birimi, çocuk kartlarla haberleşmek için LIN Kontrol Birimi, batarya paketinden geçen akımı ölçmek için Akım Trafosu Okuma Birimi, çocuk kartların enerji ihtiyacı için Güç Çıkışı Kontrol Birimi, harici iki röleyi kontrol etmek için Röle Kontrol Birimi ve kart üzerindeki gerilimlerin okunması için de Kart Gerilimleri Okuma Birimi bulunmaktadır. Ana kartın blok diyagramı Şekil 4.1.1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1.1.1: Ana kartın blok şeması

4.1.2. CAN Kontrol Birimi



Şekil 4.1.2.1: CAN kontrol birimi şematifi.

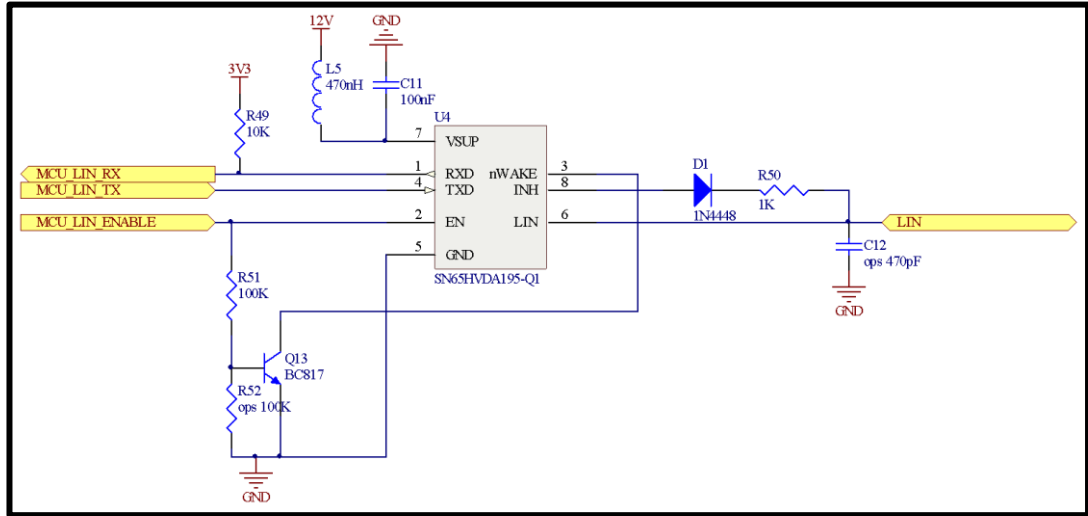
CAN haberleşmesi için kullanılan sürücü entegresi SN65HVD230DR'dir. Görevi işlemciden TTL seviyesinde çıkan sinyalleri CAN fiziksel katmanına uygun hale getirmektir. Bu entegrenin seçilmesinin en önemli sebebi besleme gerilimi olarak 3.3V'tu destekliyor olmasıdır.

R7 ile gösterilen direnç sadece CAN hattı üzerindeki ilk ana kart ile son ana karta takılacaktır. CAN haberleşmesinin yapısı gereği, hattın başında ve sonunda sonlandırma direnci denilen 120 ohmluk dirence ihtiyaç duyar. Aradaki diğer CAN haberleşmesi kullanan birimlerde bu direnç takılı olmamalıdır [20].

CAN haberleşmesi kullanılmayacağı zaman CAN sürücü entegresinin enerji harcamasının engellenmesi için besleme girişine bir anahtarlama devresi konmuştur. İşlemciden CAN_nENABLE hattına 0 lojik seviyesi gönderildiğinde CAN sürücü devresine giden besleme hattı açılır.

Entegrenin besleme hattının girişine, yüksek frekanslı gürültüleri filtrelemek için bir LC filtresi konmuştur.

4.1.3. LIN Kontrol Birimi



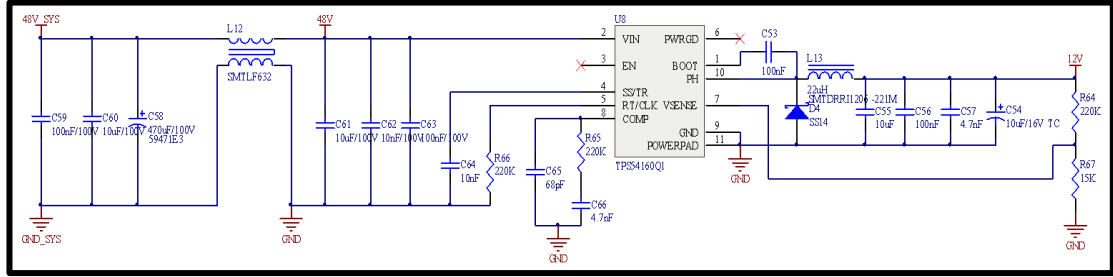
Şekil 4.1.3.1: LIN kontrol birimi şematiği.

Ana kart çocuk kartlarla LIN portu üzerinden haberleşir. LIN haberleşme protokolü yapısı gereği bir mastera ihtiyaç duyar. Bu sistemde master rolünü ana kart üstlenecektir.

LIN sürücü entegresi olarak SN65HVDA195-Q1 entegresi kullanılmıştır. Q1 uzantısı entegrenin otomotiv alanında kullanılmak üzere test edildiğini göstermektedir. Kullanılmadığı zamanlar enerji tasarrufu sağlamak için EN girişi lojik 0'a çekilecektir. Uyku durumunda (EN girişine lojik 0 geldiğinde) entegrenin çektiği akım maksimum 35 μ A'dir [21].

Besleme girişine yüksek frekanslara karşı entegreyi korumak için bir LC filtresi konulmuştur.

4.1.4. 12V Regülatör Birimi



Şekil 4.1.4.1: 12V regülatör birimi şematiği.

Ana kart üzerinde LIN entegresini beslemek ve çocuk kartların 12V gerilim ihtiyacını karşılamak için kullanılmaktadır. Verimin yüksek olması için anahtarlama (switching) regülatör kullanılmıştır. Anahtarlama regülatör yapısı gereği besleme girişine ve çıkış hattına gürültü basarlar. Gürültünün aza indirgenmesi için besleme girişinde bir π filtresi, çıkışına ferite malzeme ile dış yüzeyi kaplanmış ve anahtarlama regülatörlerde kullanılmak üzere tasarlanmış bobin ve bobinin çıkışına da düşük ESR değerine sahip paralel bağlanmış seramik kondansatörler konulmuştur.

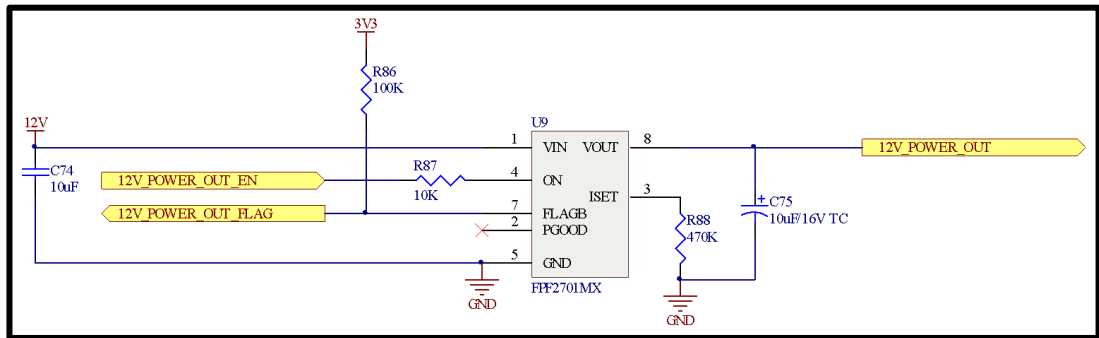
Anahtarlama regülatörün çalışma frekansını RT bacağına bağlı olan direnç belirler ve 220K entegrenin yaklaşık 535KHz de çalışmasını sağlar. Hesaplama için kullanılan formül Eşitlik 4.1.4.1'de gösterilmiştir [22].

$$R_T \text{ k}\Omega = \frac{206033}{f_{sw}(\text{kHz})^{1.0888}} \quad (4.1.4.1)$$

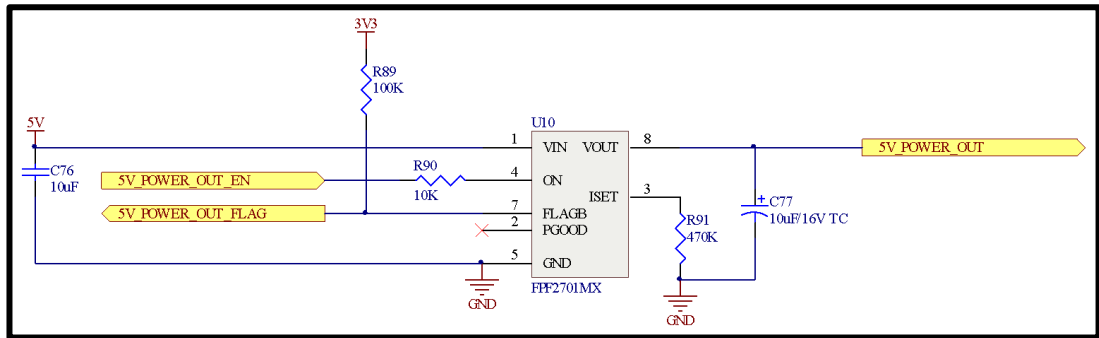
Regülatörün yüksek frekansta çalışması, analog değerlerin okunması sırasında değerlerin bozulma miktarını azaltır fakat regülatörün ısınmasını arttırarak maksimum çıkış akımını azaltacaktır. Regülatör normalde 2.5Mhz'i desteklese de bu frekansta çalıştırmak entegrenin ısınmasına sebep olacaktır. Entegreyi uygun bir frekansta çalıştırmak verimini arttıracaktır. Uygun frekans değerini hesaplamak için Texas Instruments'ın internet sitesinde bulunan SwitcherPro yazılımı kullanılmıştır.

Ana kartın üzerinde ayrıca 5V'luk ve 3V3'luk regülatör birimleri de bulunmaktadır. 5V kart üzerindeki akım trafosunu ve çocuk kartlardaki izolator entegrelerini, 3V3 ise ana kart üzerindeki diğer lojik entegreleri besler. Tasarım için kullanılan bilgiler 12V'u tasarlamak için kullanılan bilgilerle aynıdır.

4.1.5. Güç Çıkışı Kontrol Birimi



Şekil 4.1.5.1: 12V güç çıkışı kontrol devresi.



Şekil 4.1.5.2: 5V güç çıkışı kontrol devresi.

Çocuk kartlar üzerindeki LIN entegrelerini ve izolator entegrelerini beslemek için kullanılır. Bu gerilimler bütün çocuk kartlara ana kart üzerinden gönderilecektir. Böylece 12V için tek regülatör ve 5V içinde tek regülatör kullanılarak bütün BYS'nin 12V ve 5V gerilim ihtiyacı karşılanmış olacaktır.

Çocuk kartlara gönderilecek olan 5V ve 12V gerilimleri yüksek akım denetimli iki entegreden geçirilir. Böylece çocuk kartlardan birinde bir sorun oluşur ve besleme hattından fazla akım çekmeye çalışırsa, akımı süren entegre (FPF2701MX) bunu fark ederek çıkışı kapatır ve ana kartın

işlemcisini oluşturan hata konusunda bilgilendirir. Böylece ana kart gerekirse bütün BY5'nin hattın ayrılmasına karar verebilir. Aksi halde çocuk kartlardan birinin besleme hattında oluşacak bir hata ana kartın içinde dolaşan 12V ve/veya 5V hattını çökerterek ana kartın dahi çalışmasını durdurup BY5'yi kontrolsüz bırakabilirdi.

Kullanılan akım kontrol entegresi FPF2701MX entegresidir. Entegrenin akım sınırının ne olacağı ISET bacağına bağlanacak direnç ile belirlenmektedir. Gerekli formül ise Eşitlik 4.1.5.1'de gösterilmiştir [23].

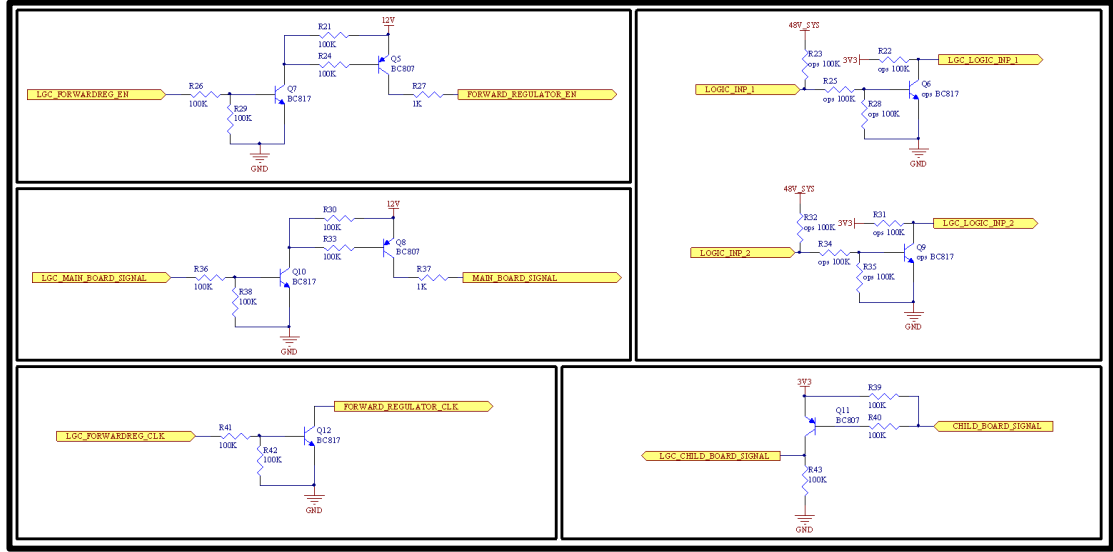
$$R_{SET} \text{ k}\Omega = \frac{277.5}{I_{LIM}(A)} \quad (4.1.5.1)$$

Tasarlanan devrede akım sınırının yaklaşık 500 mA olması istendiğinden 470K'lık bir direnç takılmıştır. Bu direnç değeri akım sınırını yaklaşık 590mA yapmaktadır.

Eğer çekilen akım kurulan akım sınırından daha yüksek bir değere ulaşırsa entegre akımın düşmesi için 500 µs bekler, eğer bu süre zarfında akım hala sınırın üstündeysen çıkışı kapatarak FLAGB bacağından entegreye '0' lojik seviyesinde sinyal gönderir. Çıkışın tekrar açılabilmesi için entegrenin 'ON' bacağına gelen sinyalin kapatılıp tekrar açılması gerekmektedir [23].

Eğer entegrenin çıkışı bir sebepten dolayı toprakla kısa devre ise entegre çıkış akımı, kurulan limit akımının %75'ine düşürülerek bu değerde bırakılır. Böylece entegrenin aniden çok hızlı ısınması ve entegrenin zarar görmesi engellenmiş olacaktır. Eğer çıkış gerilimi 2.1V değerinin üzerine çıkarsa entegre kısa devrenin kalktığına karar verip normal çalışma moduna geçer. Eğer çıkıştaki kısa devre uzun süre devam ederse entegrenin sıcaklığı artarak 140 °C'ye ulaştığında entegre kendini kapatır ve FLAGB sinyalini aktif eder. Termal salınımdan kaçınmak içinse sıcaklık 110 °C'ye düşünceye kadarda çıkış tekrar açılmaz. Bu süre zarfında işlemcinin bir sorun olduğunu anlaması için FLAGB sinyali aktif bırakılır [23].

4.1.6. Giriş – Çıkış Birimi



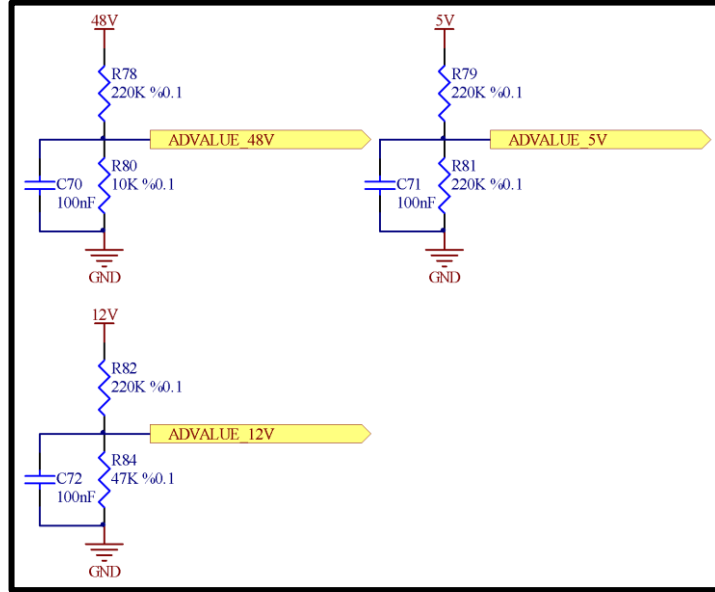
Şekil 4.1.6.1: Giriş-çıkış birimi şematik tasarımı.

Ana kart çocuk kartlarla LIN üzerinden haberleşebildiği gibi bazı kontroller için dijital sinyallerin de kullanılması gerekmektedir. Şekil 4.1.6.1’de ana kartın çocuk kartları kontrol etmede kullandığı ve dış dünyadan ana karta giren iki girişin bulunduğu giriş devreleri gösterilmiştir. Bu sinyaller ve görevleri şunlardır:

- FORWARD_REGULATOR_EN: Çocuk kartın üzerinde bulunan forward regülatörün çalışmasını sağlar. Böylece pil olmadığı zaman işlemciyi enerjilendirmek için bu sinyal aktif edilir.
- MAIN_BOARD_SIGNAL: Çocuk kartları uyandırma sinyalidir. Bu sinyal sürekli aktif kalmaz. Belli bir süre aktifleştirilir ve bütün çocuk kartların uyanması sağlandıktan sonra aktifliği enerji korunumu için kaldırılır. Hangi işlemciyle haberleşilecekse LIN üzerinden onunla haberleşilir ve diğer çocuk kartlar tekrar uykuya geçerler. Başka bir çocuk kartla tekrar haberleşilecekse sinyal tekrar aktif edilip bütün çocuk kartların tekrar uyanması sağlanır ve LIN üzerinden gerekli haberleşme yapıldıktan sonra haberleşilen çocuk kartında uyuması sağlanır.

- FORWARD_REGULATOR_CLK: Çocuk kartların üzerinde bulunan forward regülatörün CLK girişidir. Eğer bir sebepten regülatörün dahili osilatörü yeterli gelmez ise harici saat(clock) sinyalinin kullanılması gereksinimi ihtimaline karşı konulmuştur.
- CHILD_BOARD_SIGNAL: Bir sebepten ötürü çocuk kartlardan biri ana kart ile haberleşmek isterse önce bu hattın sinyal gönderir. Böylece ana kart çocuk kartla haberleşebilmek için LIN haberleşme bloğunu aktif eder. Bu hat bütün çocuk kartlara gittiğinden ana kart hangi çocuk kartın bu hattı aktifleştirdiğini bulmak için LIN hattındaki çocuk kartları tarar. Aynı anda iki çocuk kartın birden sinyal hattını aktifleştirmiş olma ihtimaline karşı tarama işlemi bütün çocuk kartlar tamamlanıncaya kadar devam edecektir.
- LOGIC_INPUT_1/2: Dış dünyadan gelmesi olası sinyaller için 2 giriş ayrılmıştır. Bu girişler gereksinime göre negatif veya pozitif tetiği okuyabilecek şekilde tasarlanmışlardır.

4.1.7. Kart Gerilimleri Okuma Birimi

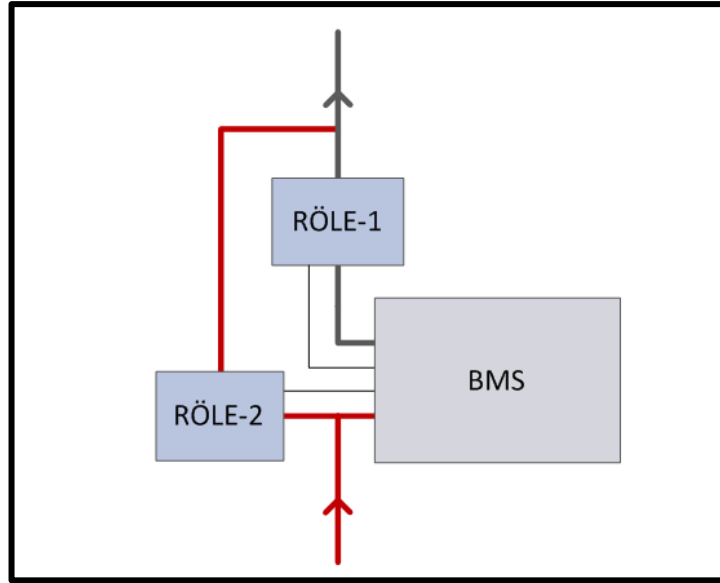


Şekil 4.1.7.1: Gerilim okuma birimi şematiği.

Ana kart, kart üzerindeki gerilimlerin değerlerini kontrol amaçlı okur. Herhangi birisinde okunan değer olması gereken değer aralığında değilse bunu arıza olarak kaydeder ve gerekirse BY5'nin kapatılmasını sağlar.

4.1.8. Röle Kontrol Birimi

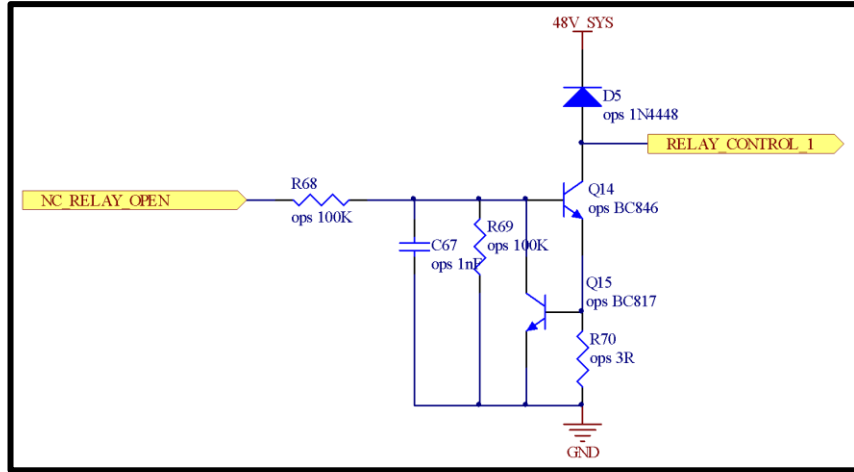
BY5'ler hat üzerinde seri ya da paralel bağlanabilirler. Eğer herhangi bir BY5'de bir arıza oluşursa BY5 kendini devre dışı bırakacaktır. Bunun kontrolünü ana kart yapar. Ana kart eğer BY5'nin devre dışı bırakılması gerektiği kararına varırsa harici röleleri kontrol ederek BY5'nin hat üzerinden ayrılmasını sağlar. Paralel bağlanmış BY5'nin hattın koparılması için besleme hattında tek rölenin olması yeterlidir fakat seri bağlanmış BY5'lerden bir BY5'nin devreden çıkması ve sürekliliğinin bozulmaması için en az iki röleye ihtiyaç olmaktadır. Bunun için donanım iki röle kullanımına imkan sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Seri bağlanmış BY5'lerden oluşan bir sistemde bir BY5'nin hatta bağlantı şekli Şekil 4.1.4.1'te gösterilmiştir.



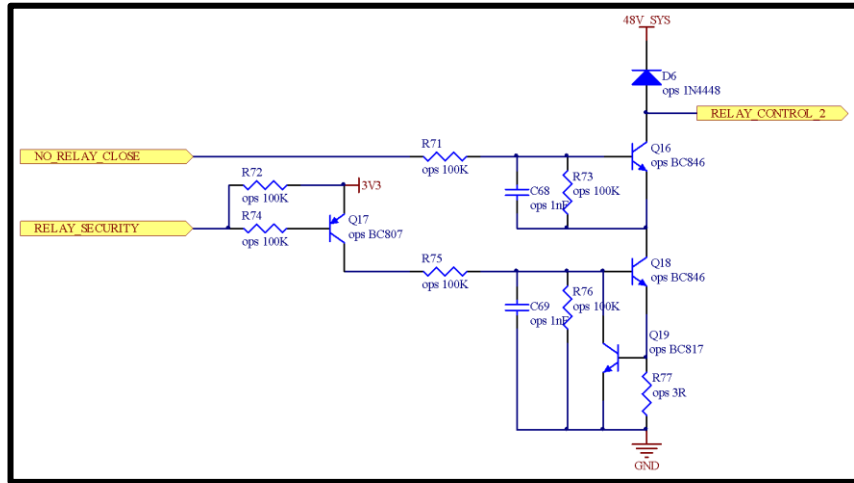
Şekil 4.1.8.1: BMS röle bağlantı şeması.

Şekil 4.1.8.1'teki şekilde Röle-1 normalde kapalı, Röle-2 ise normalde açık tip röledir. BMS kendini devre dışı bırakmak istediğinde önce Röle-1'i açarak BMS'nin hatla bağlantısını koparır, sonra Röle-2'yi kapatarak hattın sürekliliğini korumaya devam eder.

Şekil 4.1.8.2'de gösterilen devre Röle-1'i kontrol, Şekil 4.1.8.3'de gösterilen devre ise Röle-2'yi kontrol etmektedir. Röle-2'yi kontrol eden devrenin sürülmesinde fazladan bir kontrol daha kullanılmıştır. Bu şekilde yapılmasının sebebi Röle-1'in kazara enerjilendirilmesinin sisteme hasar verici bir sonucu olmaz fakat Röle-2'nin kazara enerjilendirilmesi ilgili BMS'nin artı ve eksi uçlarını kısa devre yaptığından, olay sonucunda pilleri bozulabileceği gibi pillerin patlamasına dahi sebep olabilir. Bu yüzden Röle-2'nin enerjilendirilmesi için hem NO_RELAY_CLOSE sinyali hem de RELAY_SECURITY sinyali aktif hale gelmelidir.

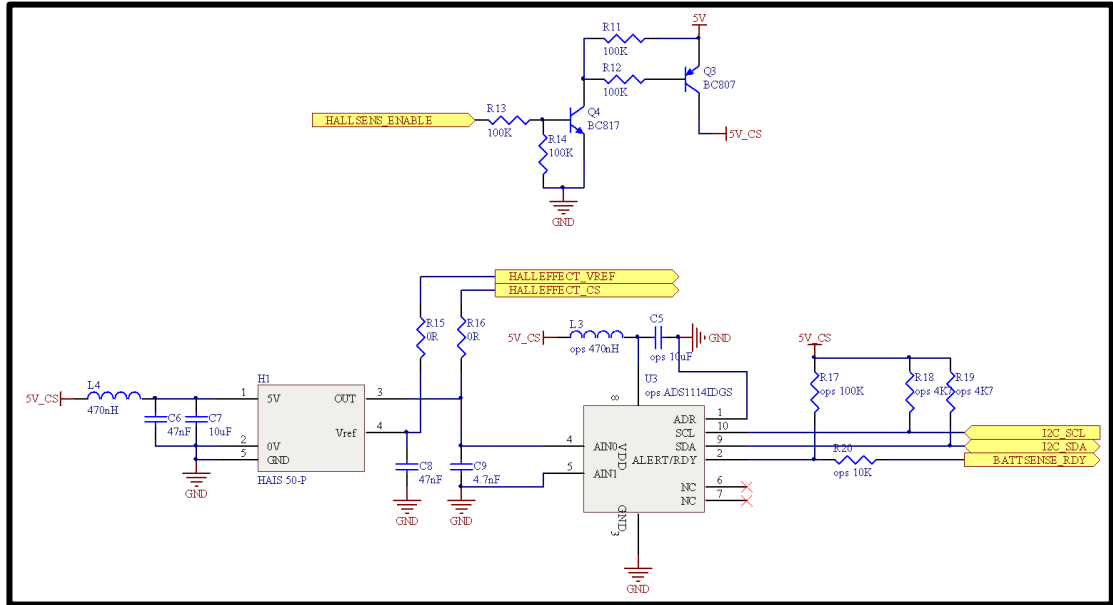


Şekil 4.1.8.2: Röle kontrol devresi-1



Şekil 4.1.8.3: Röle kontrol devresi-2

4.1.9. Akım Trafosu Kontrol Devresi



Şekil 4.1.9.1: Ana kart adres ayarlama şematiği

Ana kartın önemli devre gruplarından biridir. Şekil 4.1.9.1'de bu grubun şematiği gösterilmiştir. BYS'den geçen akım bu devre aracılığıyla ölçülmektedir. Ana kart üzerinde kullanılan akım trafosu LEM marka HAIS 50-P model bir trafodur. %1 hassasiyete sahip olan bu trafo, besleme gerilimi için sadece 5V gerilime ihtiyaç duyar. Her iki yönlü akımları okuyabilir. ± 150 A okuma aralığı vardır. Okunan akımın değerine göre OUT bacağındaki bir gerilim üretir. Bu bacakta 0A için 2.5V (V_{ref} bacağındaki gerilimle aynı değerdedir) gerilim üretir. Akım pozitif yönde akarsa gerilim artar, negatif yönde akarsa da gerilim azalır. Üretilecek gerilimin akımla bağlantısını gösteren formül Eşitlik 4.9.1.1'de gösterilmiştir [24].

$$V_{OUT} = V_{REF} + \frac{0.625 \cdot I_P}{I_{PN}} \quad (4.9.1.1)$$

Eşitlik 4.9.1.1'deki V_{REF} değeri $2.5V \pm 0.025V$ 'u, I_{PN} 50A'yi, I_P ise o anda ölçülen akımın değerini ifade etmektedir. Ölçümlerde daha hassas akım hesabını yapabilmek için hem V_{REF} değeri okunur, hem de V_{OUT} gerilim değeri. Ayrıca kullanıma ihtimaline karşı V_{OUT} değerinin 16 bitlik bir ADC

(ADS1114IDGS) tarafından da okunması sağlanacak şekilde tasarım yapılmıştır.

Akım trafosu çıkışı eğer işlemci ile okunursa işlemcinin 12 bitlik ADC'si olduğundan akım okuma çözünürlüğü Eşitlik 4.9.1.2 ve Eşitlik 4.9.1.3'te gösterilmiştir (İşlemcinin beslemesinin 3.3V olduğu kabul edilmiştir.).

$$\frac{3.3}{2^{12}} = \frac{0.625 \cdot x}{50} \quad (4.9.1.2)$$

$$x = 0.0645 A \quad (4.9.1.3)$$

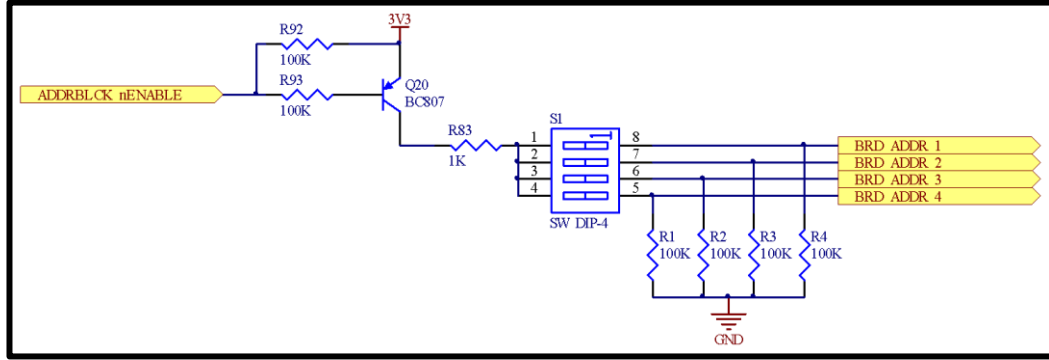
Eğer akım trafosu çıkışı ADS1114 ile okunursa akım okuma çözünürlüğünün değeri Eşitlik 4.9.1.5'te verilmiştir. Eşitlikteki 6.144 değeri ADS1114 entegresinin okuyabileceği maksimum gerilim değerini vermektedir.

$$\frac{6.144}{2^{15}} = \frac{0.625 \cdot x}{50} \quad (4.9.1.4)$$

$$x = 0.015 A \quad (4.9.1.5)$$

Bu değer ADS1114'ün içindeki PGA kullanılarak daha da aşağı çekilebilir.

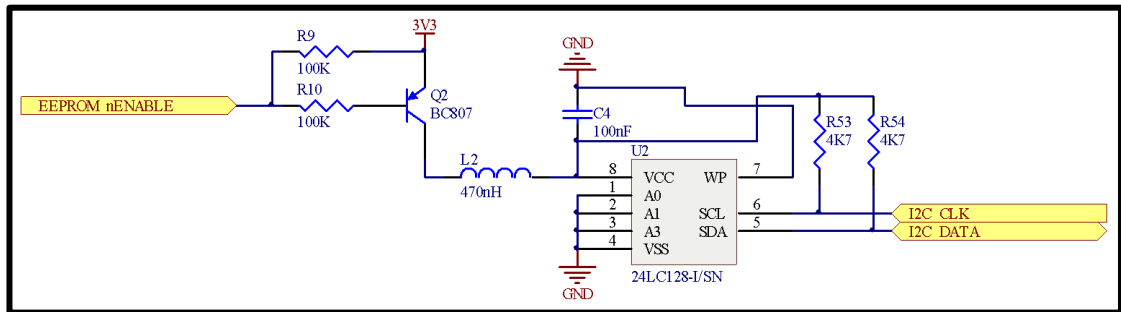
4.1.10. Ana Kart Adres Bloğu



Şekil 4.1.10.1: Ana kart adres ayarlama şematiği.

Her ana kartın bir adresi vardır. Adres değeri dörtlü anahtar üzerinden okunur. Enerji tasarrufu için sadece adres bilgisi okunacağı zaman anahtar enerjilendirilir.

4.1.11. EEPROM Birimi



Şekil 4.1.11.1: EEPROM birimi şematiği.

Ana kart üzerinde kayıtların tutulması için 16KB'lık bir EEPROM bulunmaktadır. EEPROM sadece kullanılacağı zaman enerjilendirilerek enerji tasarrufu sağlanır. EEPROM biriminin şematiği Şekil 4.1.11.1'de gösterilmiştir.

4.1.12. İşlemci Birimi

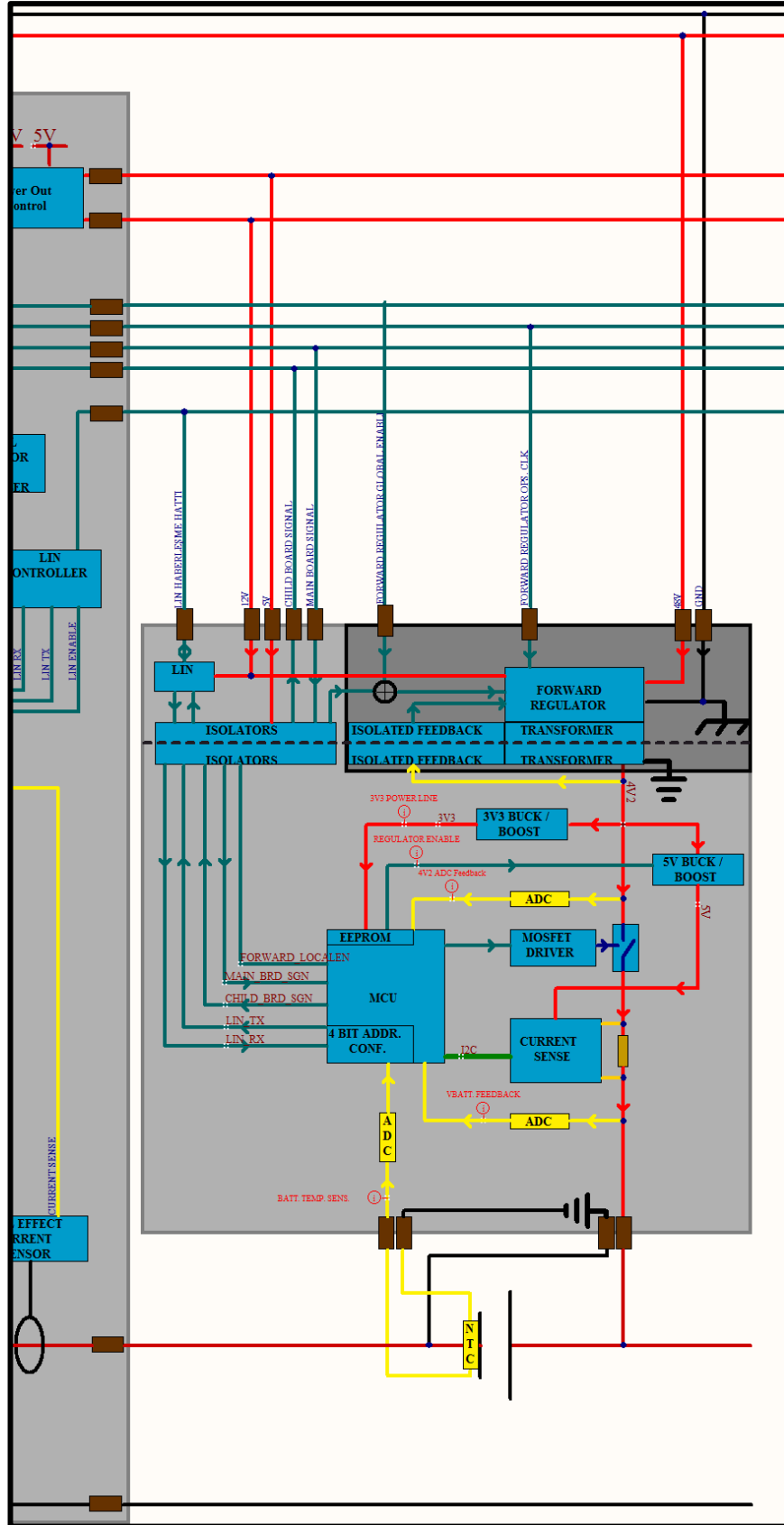
Ana kartta işlemci olarak CAN ve LIN desteği olan 32 bit ARM CortexM3 core yapısına sahip STM32F103RD işlemci kullanılmıştır. Bu işlemcinin uyku modunda çektiği akım 2 μ A mertebelerine kadar düşebilmektedir. İşlemci hızı 72 Mhz'e kadar çıkabilir, bu da işlemciye karmaşık işlemleri kısa sürede yapabilecek kadar hız kazandırır. 384KB'lık 10000 yazma döngüsüne sahip bir flash hafızası var. Gerektiğinde log tutmak için işlemcinin flash hafızası da kullanılabilir. 64KB'lık RAM alanı bulunmaktadır, bu da çok uzun diziler üzerinde işlem yapmayı kolaylaştırır [25].

Hassas süre ayarı için harici kristalinin dışında birde harici RTC kristali konmuştur. Kullanılan 32.768 KHz'lik kristalin hatası maksimum ± 20 ppm'dir. Bu durumda bir saniye için hata payının ortalamasının maksimum 20 μ s'dir. Bir başka deyişle bir saniyedeki hata payı maksimum 20us olmaktadır. Hassas süre bilgisi bataryalardaki yük miktarını hesaplamada (CoulombxT) gerekmektedir.

4.2. Çocuk Kartın Şematik Tasarımı

4.2.1. Çocuk Kartın Blok Şeması

Çocuk kartın üzerinde haberleşme için LIN kontrol birimi, izole edilmiş güç aktarımı için forward regülatör birimi, izole edilmiş sinyal aktarımı için izolatör birimi, kart üzerindeki beslemeler için 3.3V buck/boost regülatör birimi, analog gerilim okuma birimi için 5V buck/boost regülatör birimi, pil şarj işlemleri için mosfet driver birimi, pili şarj etme sırasında geçen akımı okumak için akım okuma birimi, kart üzerindeki bazı gerilimleri ve pilin sıcaklığını okuyabilmek için ADC birimleri bulunmaktadır. Çocuk kartın genel blok şeması Şekil 4.2.1.1'de gösterilmiştir.

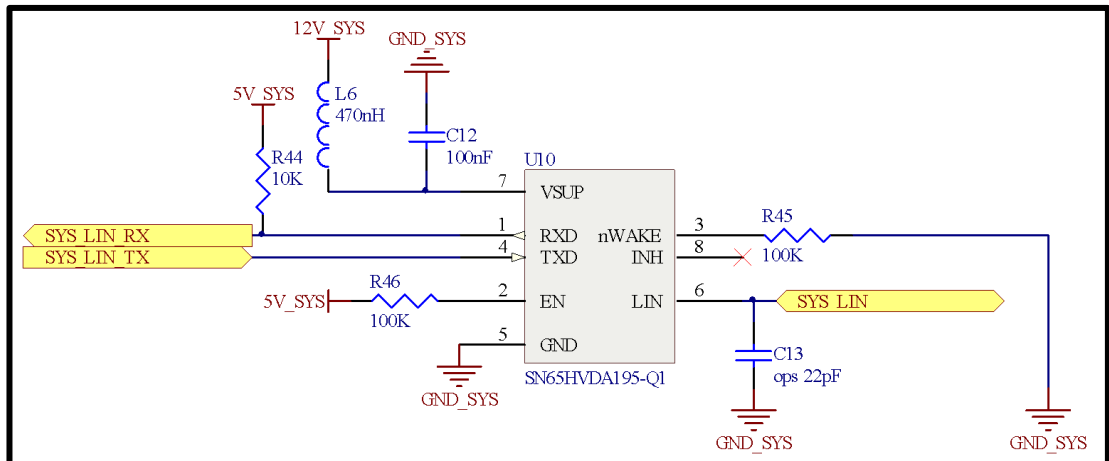


Şekil 4.2.1.1: Çocuk kartın blok şeması.

4.2.2. LIN Kontrol Birimi

Ana kart çocuk kartlarla LIN hattı üzerinden haberleşir. LIN haberleşme protokolü yapısı gereği bir mastera ihtiyaç buyar. Bu sistemde master görevini ana kart üstlenmiştir.

LIN sürücü entegresi olarak SN65HVDA195-Q1 entegresi kullanılmıştır. Q1 uzantısı entegrenin otomotiv alanında kullanılmak üzere test edildiğini gösterir. Kullanılmadığı zamanlar beslemesi ana kart üzerinden kesilerek enerji tasarrufu sağlanır. Haberleşmenin kontrolü her zaman ana karttadır. Çocuk kart üzerindeki LIN biriminin şematik tasarımı Şekil 4.2.2.1'de gösterilmiştir.



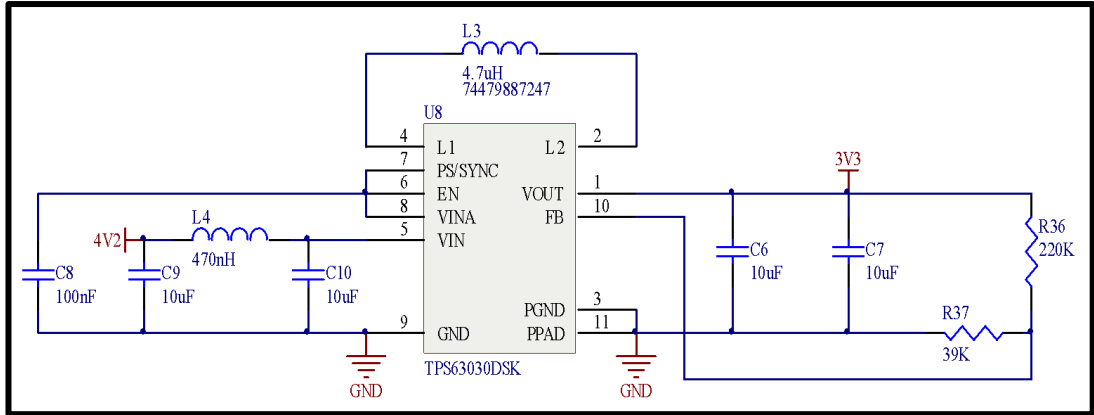
Şekil 4.2.2.1: LIN kontrol birimi şematiği.

Besleme girişine yüksek frekanslara karşı entegreyi korumak için bir LC filtresi konmuştur.

4.2.3. 3.3V ve 5V Buck/Boost Regülatör Birimleri

Çocuk kart üzerinde hem 3.3V hem de 5V gerilimler için buck/boost regülatörler vardır. Şekil 4.2.3.1'de 3.3V için buck/boost regülatörün şematiği gösterilmiştir. 5V için aynı devrede sadece R32 ile R37 dirençlerinin değerleri değişecektir. Regülatörün besleme girişine, hem besleme kanalından

regülatöre doğru, hem de regülatörden besleme hattına doğru olan gürültüleri bastırmak için bir π filtresi konmuştur. Ayrıca anlık akım ihtiyacını karşılayabilmeleri için π filtresindeki kondansatörlerin değerleri büyük tutulmuştur.



Şekil 4.2.3.1: 3.3V Buck/Boost regülatör birimi şematığı.

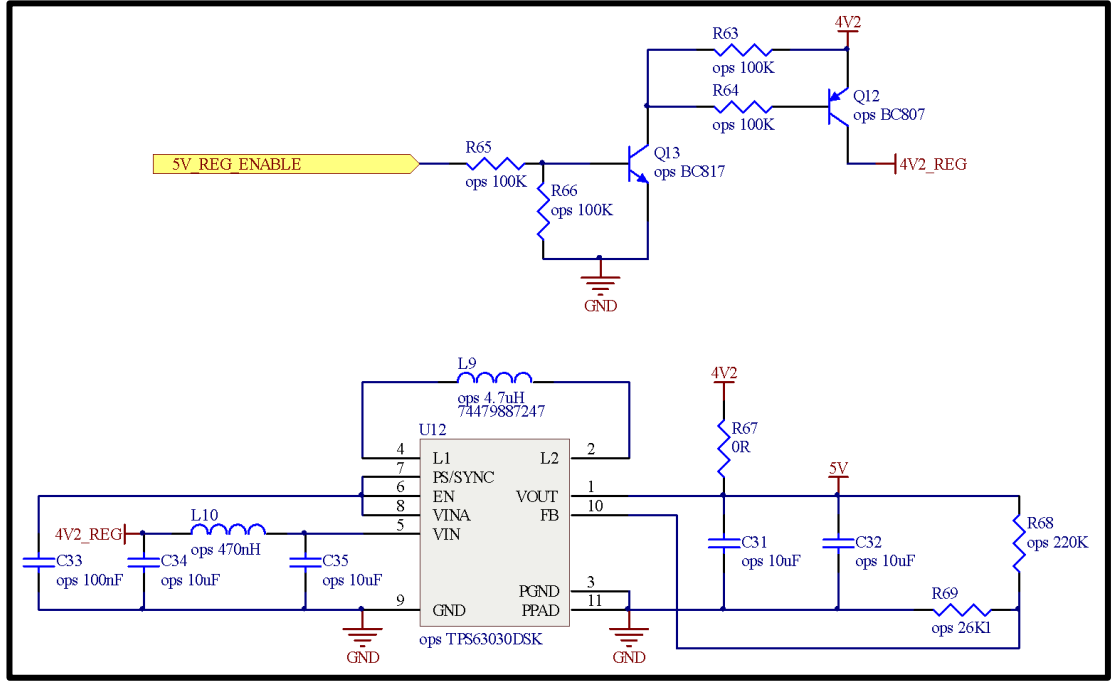
Regülatörde kullanılan bobin için entegrenin teknik dokümanında(datasheetinde) bulunan formül kullanılmıştır. Formül gereği kullanılan bobin Eşitlik 4.3.4.1'de ve 4.3.4.2'de gösterilen L1 ve L2'den daha büyük bir değerde olmalıdır [26]. L1 regülatör buck modundayken olması gereken minimum bobin değerini, L2 ise regülatör boost modundayken olması gereken minimum bobin değerini ifade eder.

$$L1 = V_{IN1} - V_{OUT} \cdot 0.5 \mu H \quad (4.3.4.1)$$

$$L2 = V_{OUT} \cdot 0.5 \mu H \quad (4.3.4.2)$$

Formüllerde V_{IN1} maksimum giriş gerilimi, V_{OUT} ise regülatör çıkış gerilimi değeridir. Bu değerler 3.3V için sırasıyla 4.2V ve 3.3V, 5V için ise 4.2V ve 5V tur. Formüller çözüldüğünde 3.3V için $L1 = 0.45 \mu H$ ve $L2 = 1.65 \mu H$, 5V için $L1$ geçersiz ve $L2 = 2.5 \mu H$ 'dir. Her iki devre içinde ortak bir değer ve her ikisi içinde kabul edilebilir bir değer olan $4.7 \mu H$ kullanılmıştır.

5V'luk buck/boost regülatörün 3.3V'tan farkı regülatöre giden besleme geriliminin işlemci tarafından açılıp kapatılabiliyor olmasıdır. Böylece 5V kullanılmadığı zaman kapatılarak enerji tasarrufu sağlanır. 5V regülatör devresinin şematik tasarımı Şekil 4.2.3.2'de gösterilmiştir.

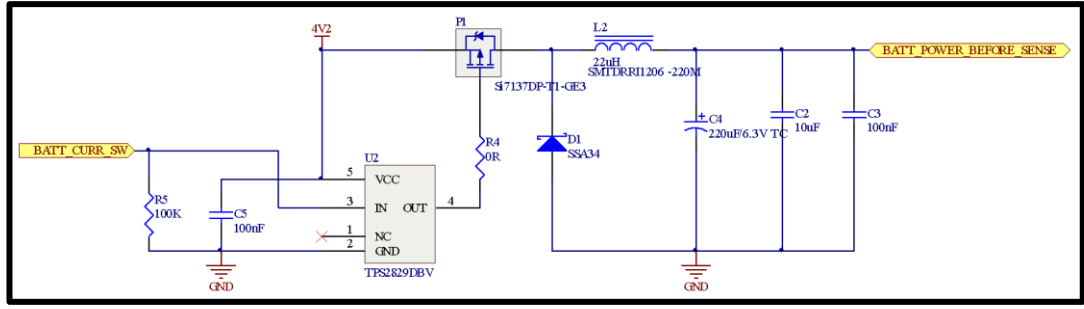


Şekil 4.2.3.2: 5V Buck/Boost regülatör birimi şematiği.

Kart üzerinde ki 5V regülatör, enerji sarfiyatı olmaması için bypass edilerek pil gerilimi hatta verilmiştir. 5V regülatör çocuk kartın üzerinde sadece ADS1114'ü beslemektedir. ADS1114'ün minimum besleme gerilimi 2V olduğundan pil gerilimiyle beslenmesinde bir sıkıntı oluşmamaktadır.

4.2.4. Batarya Şarj Birimi

Çocuk kartın bataryayı CCCV yöntemine göre şarj edebilme özelliği olmalıdır. Bu yöntem gereği, kart üzerinde CC modundayken akımı sabit tutabilmek için gerilimi kontrol edebilen bir devreye yani bir başka deyişle bir buck regülatöre ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için P kanal mosfet kullanılarak basit bir buck regülatör tasarlanmıştır. Tasarlanan devrenin şematiği Şekil 4.2.4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2.4.1: Batarya şarj birimi şematığı.

Tasarlanan regülatörde mosfet sürücü devresi olarak TPS2829DBV entegresi kullanılmıştır. Bu entegre terslemeyen(noninverting) ve anlık 2A'e kadar akım verebilen bir sürücü entegresidir. Sürücü entegresinin girişine lojik '1' değeri geldiğinde mosfet kapanır, lojik sıfır değeri geldiğinde ise mosfet açılacaktır [27].

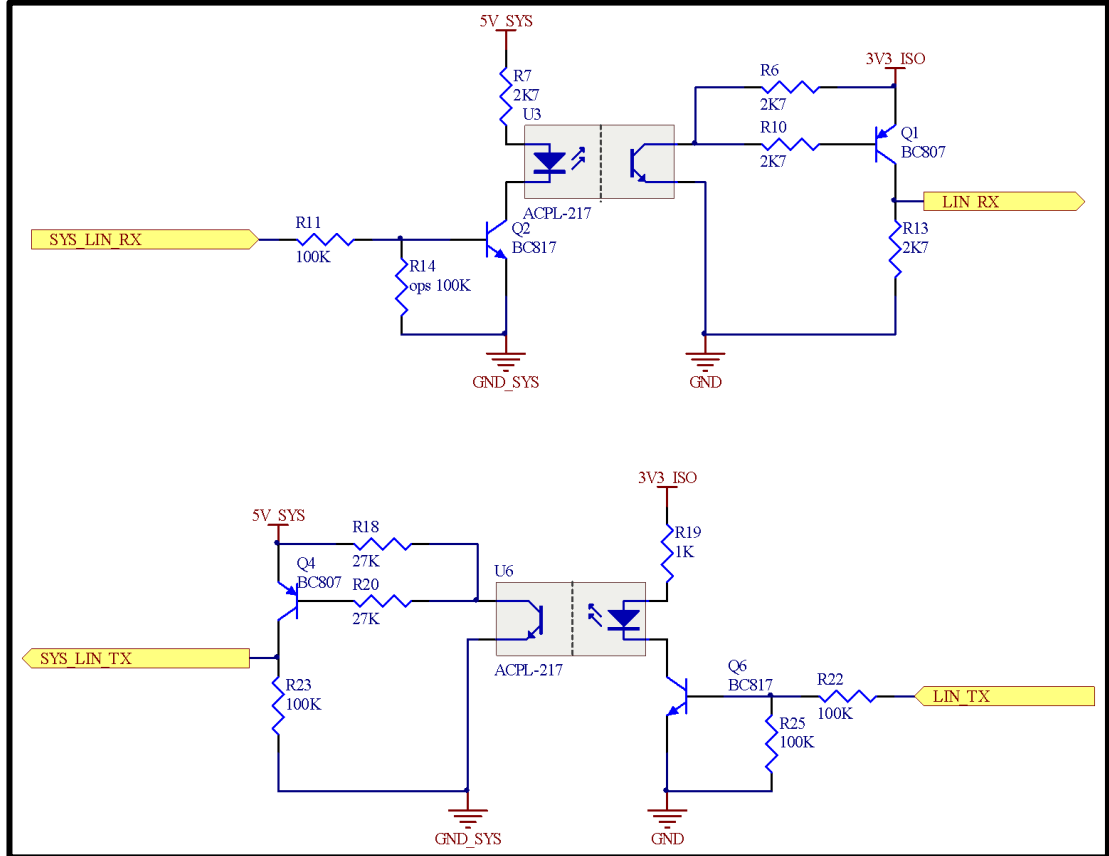
Entegrenin IN bacağına 100K'lık bir direnç takılmasının sebebi işlemci uyku modundayken mosfetin açık olmasının istenmesindedir. Eğer işlemci uyuyorsa batarya şarj edilmiyor, bu durumda da işlemci pilden besleniyor demektir. İşlemci pilden beslendiği zaman pil üzerindeki gerilim L2 bobinini ve P1 mosfetini aşarak kart besleme hattı olan 4V2 hattına akacaktır. Eğer mosfet kapalı olur ise gerilim mosfetin önündeki diyottan geçecektir. Enerji tasarrufu için ise mosfet açık bırakılarak diyotta enerji harcanmaması sağlanır.

4.2.5. İzolatör Birimi

Çocuk kartın işlemcisinin toprağı ile ana kartın toprağı ayrı olduğundan kartların birbirleriyle haberleşebilmesi için araya izolatör birimi konulmuştur. Bu birim çocuk karttan çıkan sinyalleri ana kartın gerilim seviyesine, ana karttan çıkan sinyalleri ise çocuk kartın sinyal seviyesine dönüştürür.

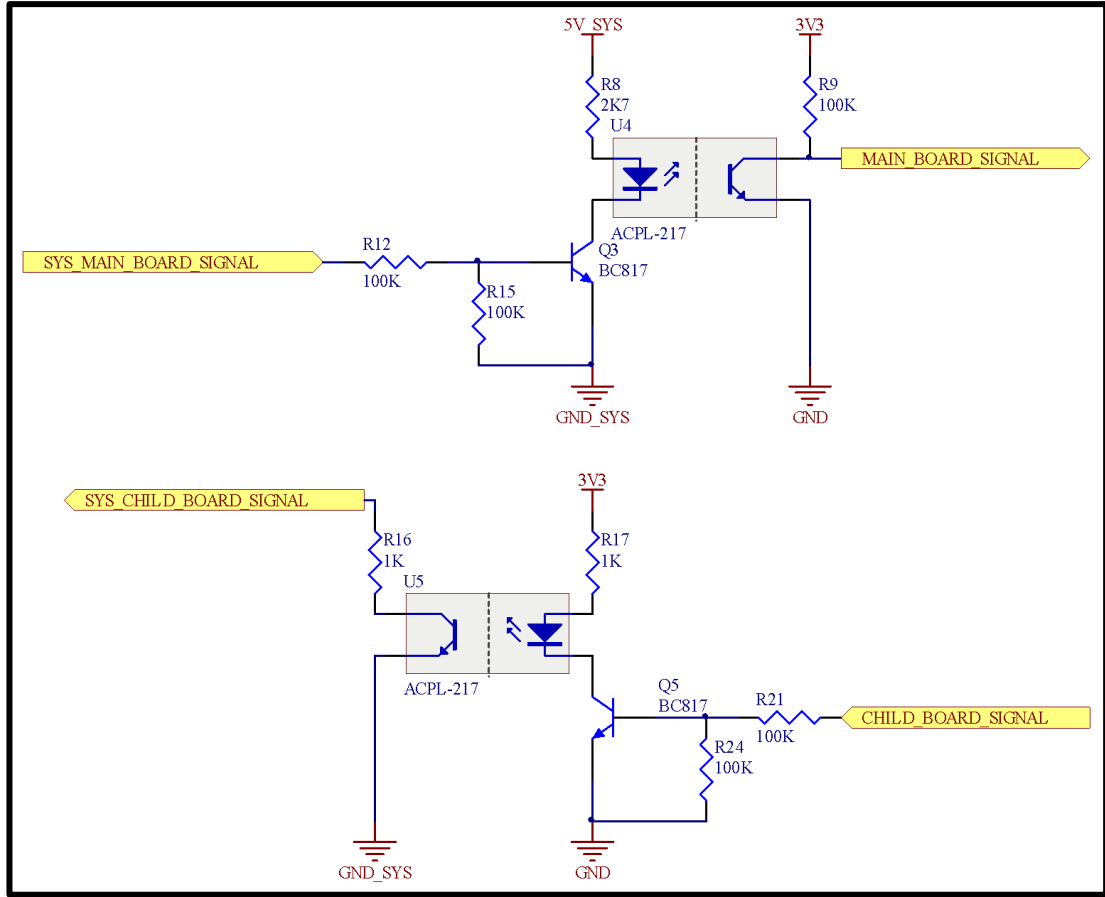
LIN haberleşme entegreleri, LIN haberleşme sinyalinin tek kablo üzerinden çift yönlü olmasından dolayı aynı besleme hattı üzerinde bulunurlar. Yani entegrelerin GND bacakları aynı yere bağlıdır. Bu yüzden izolatörler LIN haberleşme entegresi ile işlemci arasında konmuştur.

Sinyallerin seviyelerinde değişiklik olmaması için yani LIN entegresinden '1' geldiğinde işlemciye '1' gitmesi ya da işlemci '1' gönderdiğinde LIN entegresine '1' gitmesi için izolatör çıkışında PNP transistörler kullanılmıştır. LIN haberleşmesi için tasarlanan izolatörlerin şematiği Şekil 4.2.5.1'de gösterilmiştir.



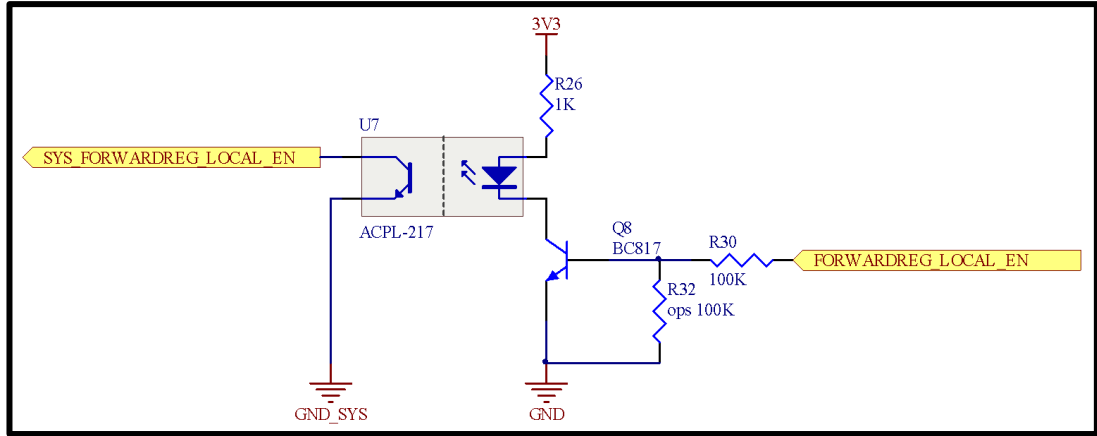
Şekil 4.2.5.1: LIN haberleşmesi izolatör şeması.

Ana kart ile çocuk kart arasında bir haberleşme olacaksa önce haberleşme olacağını bildiren sinyallerden biri aktif olur. Bu sinyaller şematiklerde `SYS_CHILD_BOARD_SIGNAL` ve `SYS_MAIN_BOARD_SIGNAL` isimleriyle belirtilen sinyallerdir. Şekil 4.2.5.2'de bu sinyaller için kullanılan izolatör şematikleri gösterilmiştir.



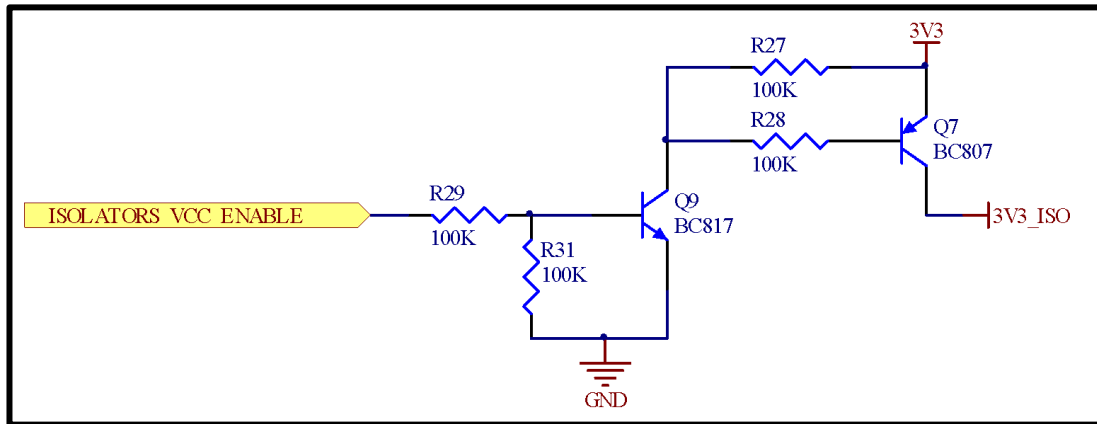
Şekil 4.2.5.2: Çocuk kart ve ana kart sinyalleri izolatör şematiği

Ayrıca çocuk kartın ana karttan bağımsız olarak forward regülatörü çalıştırabilmesi için bir başka izolatör devresi forward regülatörün enable bacağı ile işlemci arasına konmuştur. Şekil 4.2.5.3'te bu sinyalin izolatör şematiği gösterilmiştir.



Şekil 4.2.5.3: Forward regülatörü aktifleştirme sinyali şematiği

Optokuplörler çok enerji harcadıklarından sadece kullanılacakları zaman enerjilendirilmeleri için LIN hatlarındaki optoküpörlerin beslemelerinin önüne bir anahtar konmuştur. Bu anahtarın şematiği Şekil 4.2.5.4'te gösterilmektedir.

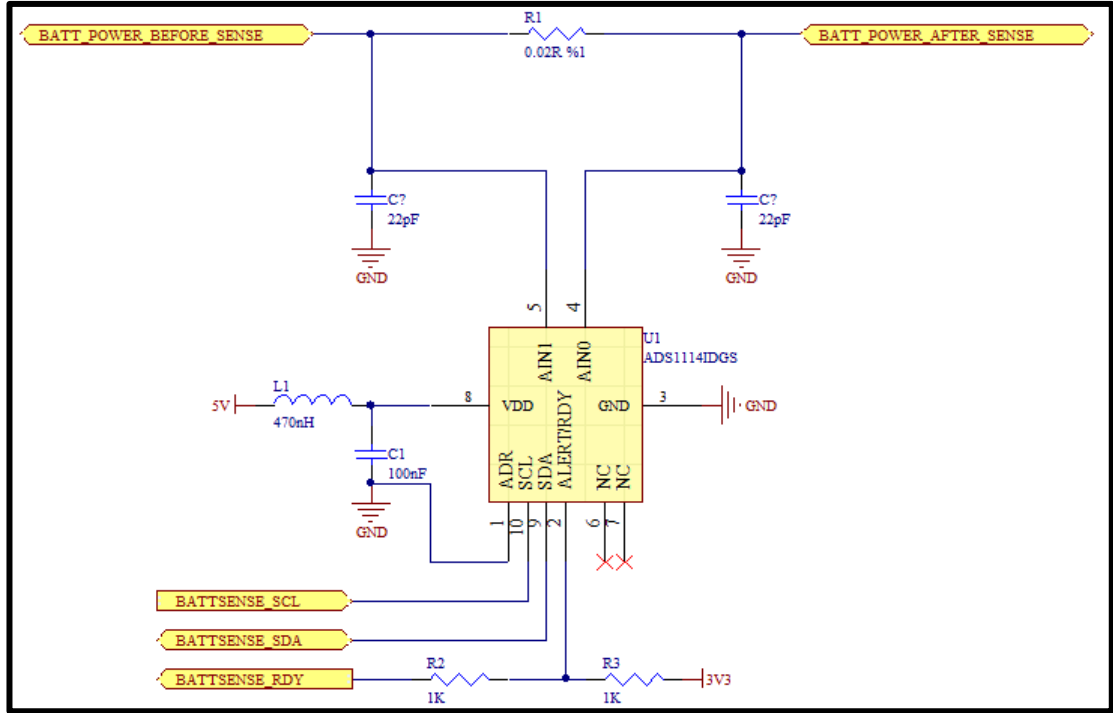


Şekil 4.2.5.4: Optokuplör güç anahtarı şematiği

4.2.6. Akım Okuma Birimi

Çocuk kart, bataryanın çektiği akımı bataryanın önündeki $0.02R$ %1'lik direnç üzerinde düşen gerilim yardımıyla okumaktadır. Bu gerilimi işlemci 16 bit delta-sigma analog dijital çevirici olan ADS1114IDGS entegresi yardımıyla okur. Bu entegre işlemciyle I2C hattı üzerinden haberleşir. Şekil 4.2.6.1'de akım okuma biriminin şematiği yer almaktadır. BATTSENSE_SCL ve BATTSENSE_SDA I2C haberleşme hatlarıdır. BATTSENSE_RDY ise analog

çevrimin bitip bitmediğini gösteren sinyal çıkışıdır. İşlemci bu hattaki sinyalin seviyesine bakarak analog çevrimin bitip bitmediğini anlar.



Şekil 4.2.6.1: Çocuk kartı akım okuma birimi şematığı

ADS1114IDGS 16 bit ve 860 SPS çevirme kapasitesine sahiptir. Özdeş bacak sırasına sahip bir başka entegre olan ADS1014 entegresi ise 12 bit ve 3300 SPS çevirme kapasitesine sahiptir. Fakat yüksek çözünürlük daha önemli olduğundan ADS1114 entegresi kullanılmıştır. Bu entegre ile teorik olarak $390.625 \mu\text{A}$ çözünürlükte akım değeri okunabilir. Bu hesap şu şekilde yapılmıştır.

ADS1114'ün gerilim okuma skalası -256mV ile 256mV arasında olabilmektedir [28]. Bit çözünürlüğü 2^{16} olduğundan ölçümdeki her bitin denk geldiği gerilim:

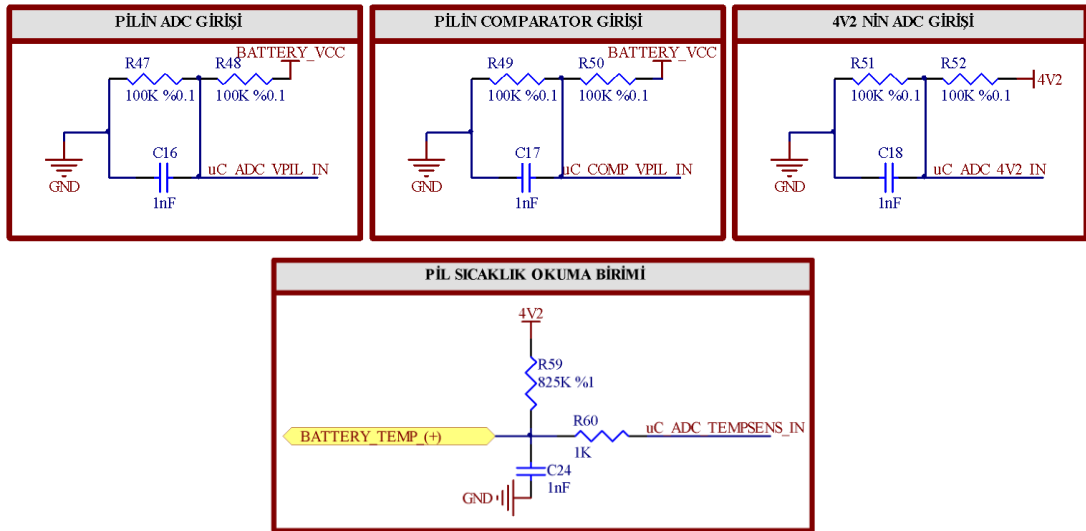
$$\frac{0.512}{2^{16}} = \frac{1}{128000} = 7.8125 \cdot 10^{-6} \text{ V} \quad (4.2.6.1)$$

Shunt direnç değeri 0.020Ω olduğundan bit başına denk gelen akım miktarı:

$$\frac{7.8125 \cdot 10^{-6}}{0.02} = 390.625 \cdot 10^{-6} A \quad (4.2.6.2)$$

4.2.7. ADC Birimi

Çocuk kartın, pilin gerilimini okuması, pilin sıcaklığını okuması ve forward regülatörün ürettiği gerilimi okuması için analog gerilim okuma birimleri tasarlanmıştır. Ayrıca işlemci uyuduğunda pilin belli bir gerilimin altına inmesi durumunda işlemcinin otomatik uyanması için de işlemci üzerinde bulunan ve yazılımsal olarak ayarlanabilen bir gerilim karşılaştırıcı devresi kullanılmıştır. Dört birimin de şematikleri Şekil 4.2.7.1'de gösterilmektedir.

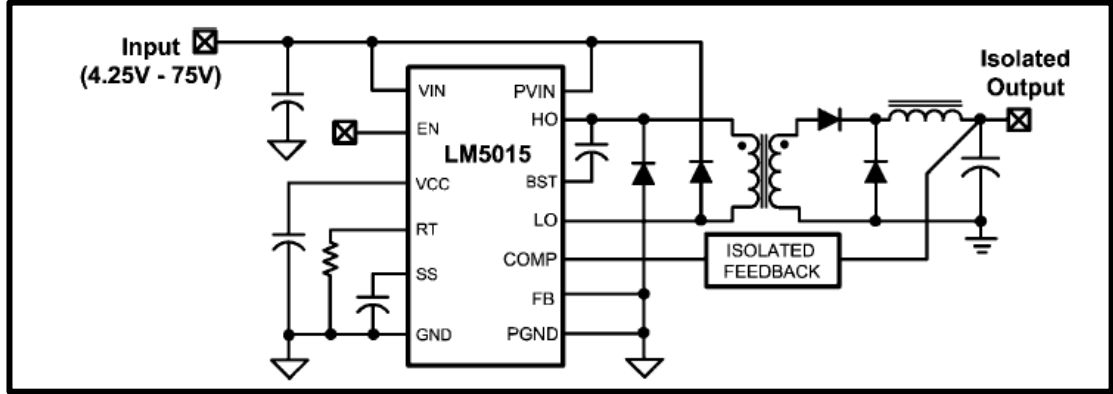


Şekil 4.2.7.1: Çocuk kart analog gerilim okuma birimleri

4.2.8. Forward Regülatör Birimi

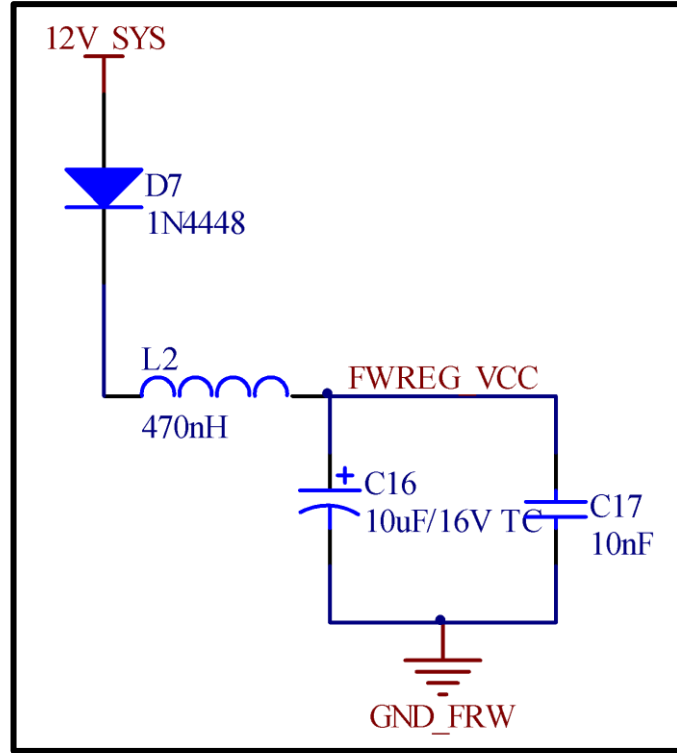
Bataryaların şarj edilebilmesi için bir izole regülatör kullanılması gerekmektedir. Bunun için kompleksliği az olan flyback ve forward

regülatörler ön plana çıkmıştır. Veriminin daha fazla olması ve çok fazla ek eleman gerekmemesinden dolayı forward regülatörün kullanılması kararlaştırılmıştır. Bunun için de bir forward regülatör kontrol entegresi olan LM5015M entegresi kullanılmıştır. Şekil 4.2.8.1'de LM5015M için bir blok şematik gösterilmiştir.



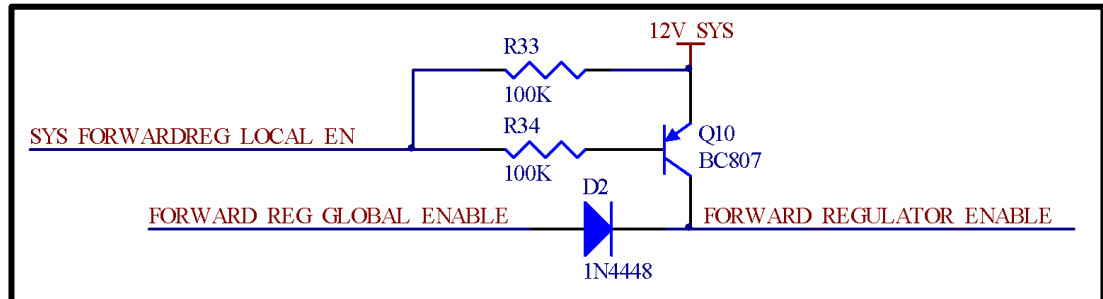
Şekil 4.2.8.1: LM5015M için blok şematik [29].

Sürücü, çıkıştaki gerilimi bir izole edilmiş geri besleme ile okuyarak bu gerilimin sabit kalmasını sağlamaktadır. Gerilimin kaç voltta sabit tutulacağı geri besleme devresindeki dirençler yardımıyla ayarlanmaktadır. Şekil 4.2.8.2'de bu geri besleme devresi gösterilmiştir. Çıkış gerilimini R5, R8, R14 ve R15'in kombinasyonları belirleyecektir.

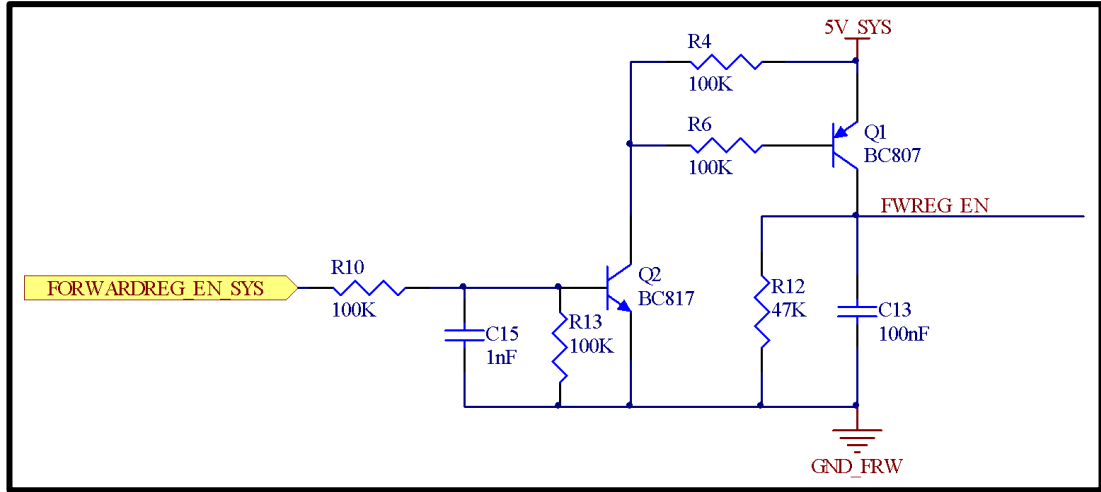


Şekil 4.2.8.3: LM5015M besleme devresi.

Forward regülatör sadece batarya şarj edilirken çalıştırılacağından diğer durumlarda kapanması için entegrenin ENABLE bacağı hem çocuk kartın hem de ana kartın kontrolüne verilmiştir. Ana kart veya çocuk karttan herhangi birisinin regülatörü aktif etmesi regülatörün çalışması için yeterlidir. Şekil 4.2.8.4'te forward regülatörün aktifliğinin her iki kart tarafından kontrol edilmesi için kurulan devre gösterilmiştir. Şekil 4.2.8.5'te ise LM5015M'nin ENABLE bacağı için kurulan devre gösterilmiştir.



Şekil 4.2.8.4: Forward regülatörü enable kontrolü



Şekil 4.2.8.5: LM5015M ENABLE pini kontrol şematiği.

4.2.9. İşlemci Birimi

Çocuk kart üzerinde ultra düşük güçlü 32 bit ARM çekirdeğine sahip STM32L151C8 işlemcisi kullanılmıştır. İşlemcinin maksimum çalışma frekansı 32 MHz'dir. İçinde 64KB'lık flashı, 10KB'lık RAM alanı ve 4KB'lık dahili EEPROM'u bulunmaktadır. Uyku durumunda çektiği akım 300nA'e kadar düşürülebilir [30].

5. KARTLARIN AKIM ANALİZLERİ

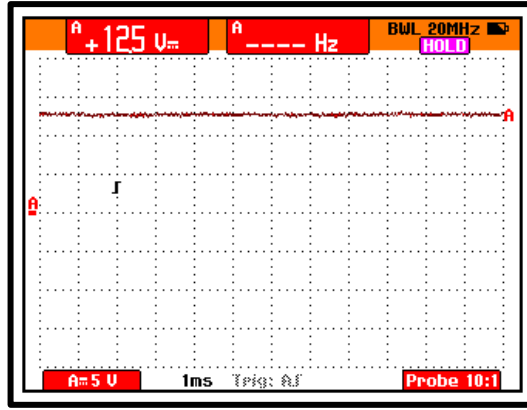
BYS'yi oluşturan kartlar bir elektrikli araçta kullanılacağından ve enerjilerini bataryalardan karşılayacaklarından düşük güç tüketimli olmaları gerekmektedir. Özellikle uyku durumundaki enerji tüketimlerinin az olması çok önemlidir. Sistem beklemedeyken akünün kısa sürede bitmesi kabul edilebilir bir durum değildir. Bu yüzden kartların tamamı uyku durumunda çok az akım çekecek şekilde tasarlanmışlardır.

Kartların üzerinde bulunan işlemcilerin birkaç farklı uyku modu bulunmaktadır. Buradaki ölçümler işlemciler deep-sleep denilen uyku modundayken yapılan ölçümleri içerir.

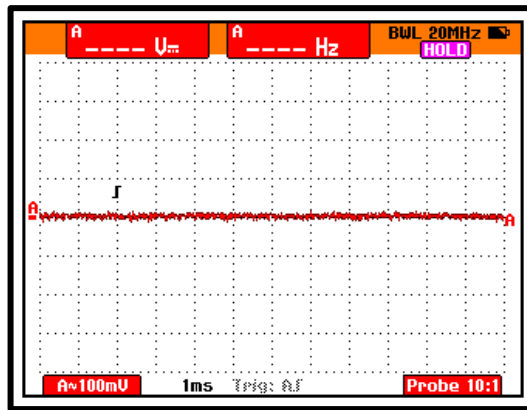
Ölçümlerde alınan osiloskop çıktılarında yatay eksen zaman eksen, dikey eksen ise gerilim eksenidir. Grafiklerin altında bu açıklama "V-t" ifadesiyle gösterilmiştir.

5.1. Ana Kartın Akım Analizleri

Kartın uyku durumunda çektiği akımı ölçmeden önce 12V, 5V ve 3V3 regülatörlerinden çıkan gerilimlerin doğrulukları kontrol edilmiştir. Gerilimler osiloskop üzerinden hem DC hem de AC modda ölçülmüştür. 12V için yapılan ölçümler Şekil 5.1.1'de ve Şekil 5.1.2'de gösterilmiştir.

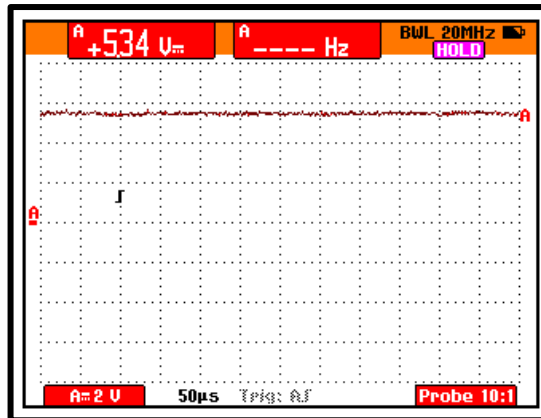


Şekil 5.1.1: 12V çıkışı – DC (V-t)

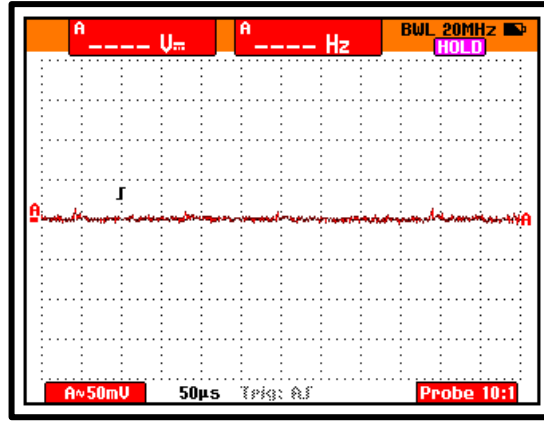


Şekil 5.1.2: 12V çıkışı – AC(V-t).

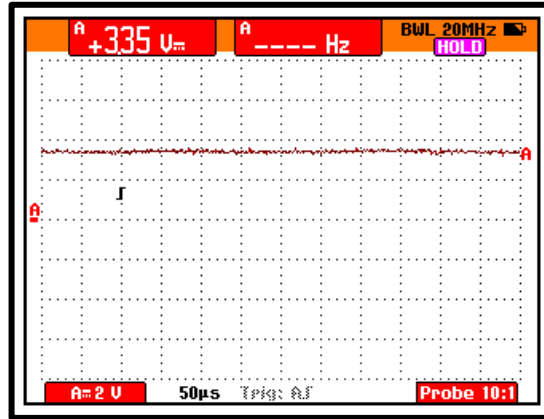
Şekil 5.1.1’de görüleceği üzere sinyal 12.5V çıkış vermektedir. AC modda yapılan ölçümlerde de çıkış üzerinde önemsenecek miktarda bir gürültü oluşmadığı görülmektedir. Benzer sonuçlar 5V ve 3.3V için de aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.



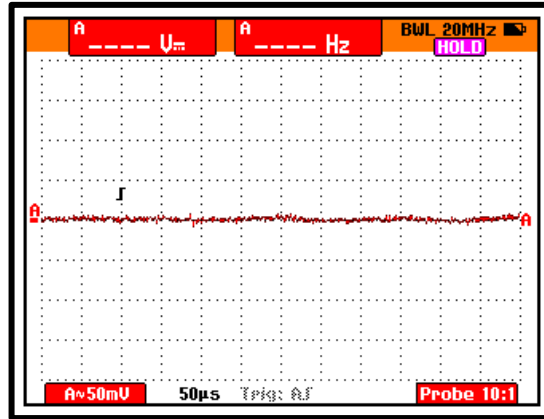
Şekil 5.1.3: 5V çıkışı – DC (V-t).



Şekil 5.1.4: 5V çıkışı – AC (V-t).

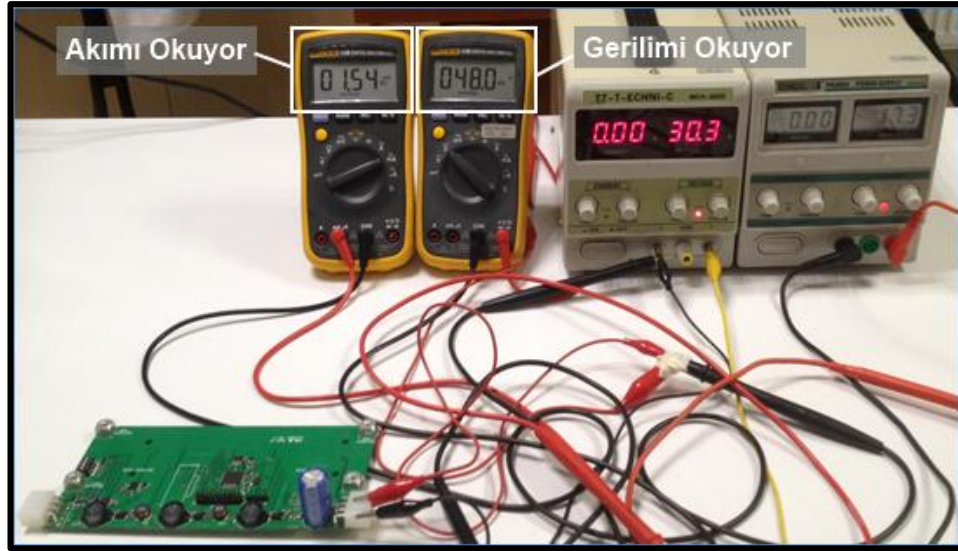


Şekil 5.1.5: 3.3V çıkışı – DC (V-t).



Şekil 5.1.6: 3.3V çıkışı – AC (V-t).

Ana kartın uyku durumunda harcadığı enerji ölçülürken girişine 48V gerilim uygulanmıştır. Kartın çektiği akımın 1.5mA civarında olduğu görülmüştür. Şekil 5.1.7’de ölçüm yapılırken çekilen bir resim bulunmaktadır.

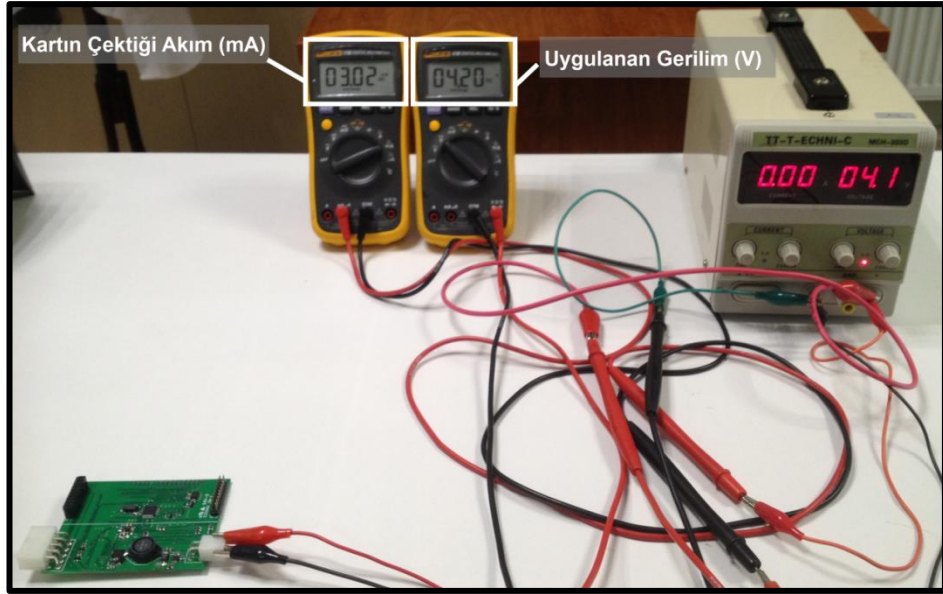


Şekil 5.1.7: Ana kartın akım ölçümleri yapılırken.

5.2. Çocuk Kartın Akım Analizleri

Çocuk kart hem bataryadan hem de kartın üzerindeki forward regülatörden beslenebilir. Her iki kaynaktan da karta gelebilecek maksimum gerilimin 4.2V olacağı varsayılmıştır.

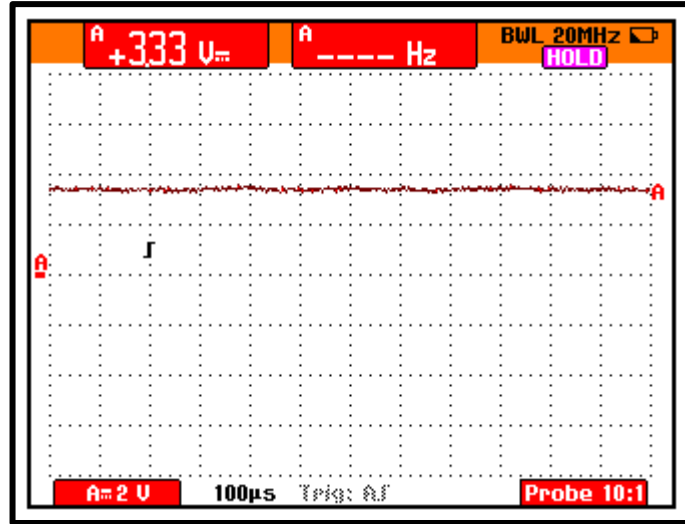
Kart, pil tarafından 4.2V'luk harici bir kaynakla beslendiğinde uyku durumundayken çektiği akım yaklaşık 3 mA olarak ölçülmüştür. Bu değer normalde beklenenden fazladır. Bu yüzden kart üzerinde inceleme yapılmıştır. Şekil 5.2.1'de ölçüm yapılırken çekilen bir resim gösterilmiştir.



Şekil 5.2.1: Çocuk kart pil socketinden beslenirken

Kartın üzerinde bir adet 3.3V buck-boost regülatör vardır. Bu regülatörün çektiği akımın değerinin, regülatör çıkışı hiçbir yere bağlı değilken yaklaşık 2.7mA olduğu görülmüştür. Bu durumda kart üzerindeki regülatör dışı sistemin çektiği akım yaklaşık 300uA'dır.

Çocuk kart üzerindeki buck-boost regülatörünün ürettiği gerilim incelenmiştir. Çıkışın osiloskop görüntüsü Şekil 5.2.2 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5.2.2: Çocuk kartı 3.3V regülatör çıkışı (V-t).

Çocuk kartın batarya girişine farklı gerilimler uygulanmış ve uygulanan gerilimlere bağlı olarak 3.3V çıkışının değişimi incelenmiştir. Ölçüm sonuçları Tablo 5.2.1’de gösterilmiştir.

Tablo 5.2.1: Pil Gerilimi-Çekilen Akım Tablosu

<u>Uygulanan Gerilim</u>	<u>Çıkış Gerilimi</u>	<u>Çekilen Toplam Akım</u>
4.20V	3.3V	3.00mA
3.00V	3.3V	3.26mA
2.70V	3.3V	4.27mA
2.10V	3.3V	6.41mA
2.00V	3.3V	6.94mA
1.80V	2.48V	18.90mA

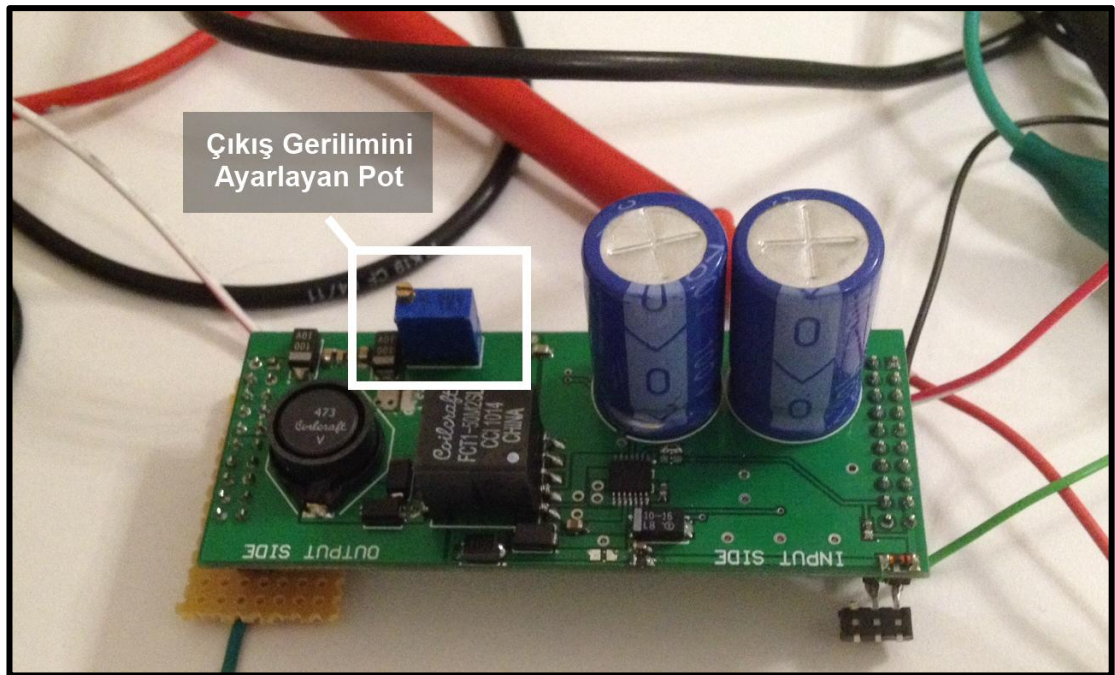
Tablo 5.2.1’de uygulanan pil gerilimleri ve o pil geriliminde kartın çektiği akım miktarları gösterilmiştir. Görüldüğü üzere kartın beslemesi düştükçe çekilen akım artmaktadır. Burada akım artmasına neden olan tek aktif birim buck-boost regülatör birimidir.

Uygulanan gerilim 1.8V’un altına düştüğünde çıkış kendini tamamen kapatmaktadır.

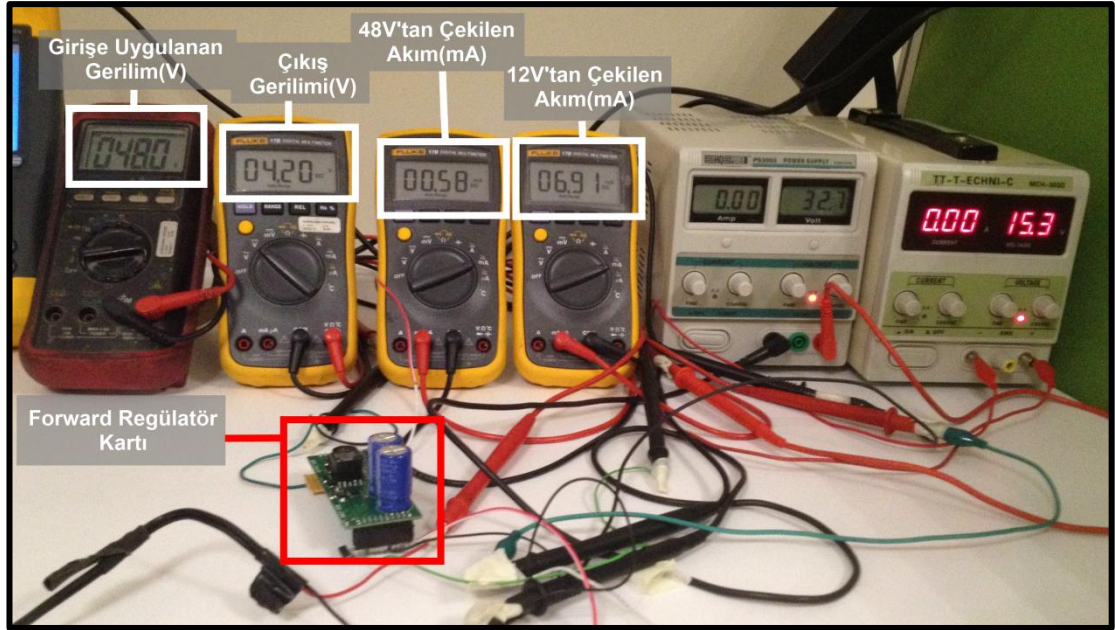
5.3. Forward Regülatörün Akım Analizleri

Çocuk kartın üzerine takılı olan ve 48V'u 4.2V'a çeviren izoleli bir forward regülatör kartı vardır. Bu kartın üzerindeki devre hem 48V girişine, hem de 12V girişine ihtiyaç duymaktadır. Bu da kartın hem 48V hattından hem de 12V hattından akım çekeceği anlamına gelmektedir.

Kartın çektiği akımlar ölçülmeden önce 4.2V çıkışının doğruluğu ölçülmüştür. Kartın çıkış gerilimi kart üzerinde bulunan bir pot yardımıyla ayarlanmaktadır. Şekil 5.3.1'de kartın üzerindeki bu pot gösterilmiştir. Şekil 5.3.2'de ise test yapılırken ve forward regülatör kartı aktifken yani çıkışında 4.2V gerilim üretiliyorken çekilen bir resim mevcuttur.

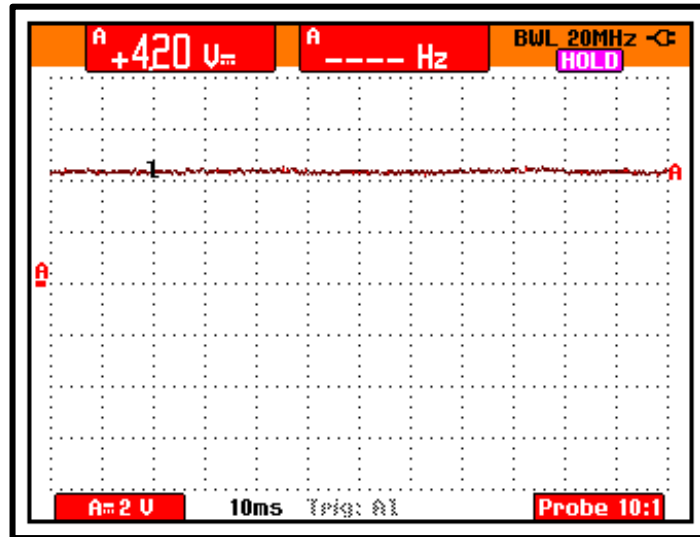


Şekil 5.2.1: Forward regülatör kartı.

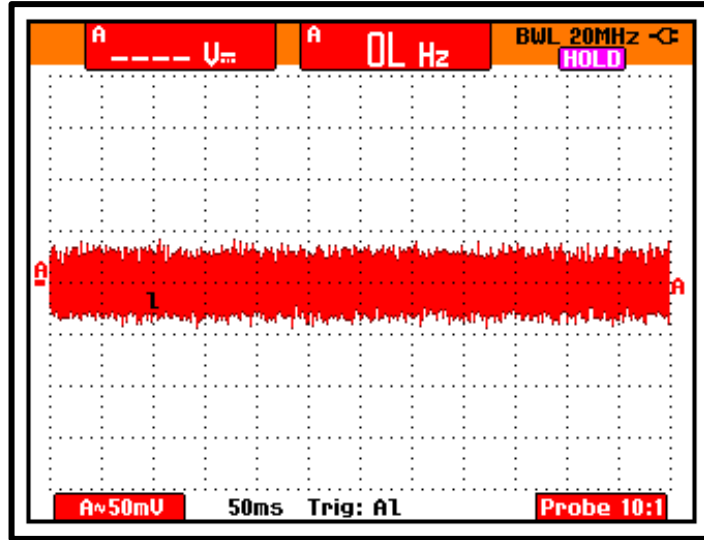


Şekil 5.3.2: Forward regülatör kartı test düzeneği.

Forward regülatör aktifken, besleme hattı 48V iken ve çıkıştan bir akım çekilmiyorken regülatör çıkışının DC ve AC modlardaki osiloskop görüntüleri Şekil 5.3.3'te ve Şekil 5.3.4'te gösterilmektedir. Görüldüğü üzere çıkıştaki salınım $\pm 50\text{mV}$ seviyesinin altındadır.



Şekil 5.3.3: Forward regülatör çıkışı – DC (V-t).



Şekil 5.3.4: Forward regülatör çıkışı – AC (V-t).

Forward regülatör kartının uyku durumundayken ve çalışıyor ama çıkıştan akım çekilmiyorken 48V hattından ve 12V hattından çektiği akım miktarları ölçülmüştür. Forward regülatör entegresi aktif değilken yani çıkışında 4.2V gerilimi üretilmiyorken 48V hattından çektiği akım miktarı yaklaşık 52 μ A, 12V hattından çektiği akım miktarı ise yaklaşık 890 μ A'dir. Görüldüğü üzere forward regülatör kartı uyku durumundayken yaklaşık 13mW güç harcamaktadır.

Forward regülatör entegresi aktifken yani çıkışında 4.2V gerilim üretiliyorken 48V hattından kartın çektiği akım yaklaşık 580 μ A, 12V hattından çektiği akım ise yaklaşık 6.9 mA'dir. Bu akım miktarları karttan çekilen akım miktarı arttıkça artacaktır.

6. KARTLARIN ÇALIŞTIRILMASI

Kartların ölçümleri yapıldıktan ve kartlar ayrı ayrı çalıştırıldıktan sonra birleştirilerek bir sistem olarak çalıştırılmışlardır. Fakat çalıştırılma testlerinde bir ana karta bağlı bir çocuk kart ve o çocuk karta bağlı bir batarya hücresi bulunmaktadır. Kartların çalışmaları gözlemlenmiş ve aşağıdaki gibi raporlanmıştır.

6.1. LIN Haberleşmesi Verimi

Bu bölüm çocuk kartın ana kartla haberleşmesini sağlayan LIN haberleşme birimlerinin çalışma verimlerinin sonuçlarını sunmaktadır. Maksimum LIN haberleşme hattı hızı 19khz'dir. Yapılan ölçümlerde bu değer ve altı olan standart RS232 haberleşme hızları kullanılmıştır. Bu değerler 19200, 9600, 4800, 2400 ve 1200 baudtur. Veri gönderme işlemi çocuk karttan ana karta doğru olmuş ve verilerin doğru ulaşıp ulaşmadığı kontrolü işlemi için bit olarak 0b1010101 verisine sahip olan 'U' karakteri aralarda bekleme olmadan sürekli olarak gönderilmiştir.

Haberleşme hızı 19200 bauda ayarlandığında haberleşmenin hiç yapılamadığı görülmüştür. 19200 baud hızı verilerin optokuplörler ve transistörlerden geçip LIN fiziksel katmanına ulaşması için çok yüksek gelmiştir.

Haberleşme hızı 9600 bauda ayarlandığında haberleşme başlayabilmiş fakat verilerin tamamı bozuk olarak ana karta ulaşmıştır. Şekil 6.1.1'de ana kart tarafından raporlanan test sonucu gösterilmiştir.

```

LIN HABERLEŞME VERİMİ
HABERLEŞME HIZI.....: 9600 Baud
TOPLAM OKUNAN KARAKTER SAYISI.....: 10000 Adet
HATALI OKUNAN KARAKTER SAYISI.....: 10000 Adet
-

```

Şekil 6.1.1: LIN 9600 baud haberleşme test sonucu.

9600'den sonra haberleşme hızı 4800'e düşürülmüş fakat verilerin tamamı yine bozuk olarak ana karta ulaşmıştır. Şekil 6.1.2'de ana kart tarafından raporlanan test sonucu gösterilmiştir.

```

LIN HABERLEŞME VERİMİ
HABERLEŞME HIZI.....: 4800 Baud
TOPLAM OKUNAN KARAKTER SAYISI.....: 10000 Adet
HATALI OKUNAN KARAKTER SAYISI.....: 10000 Adet
-

```

Şekil 6.1.2: LIN 4800 baud haberleşme test sonucu.

Daha sonra haberleşme hızı 2400'e indirilmiş fakat verilerin tamamı yine bozuk olarak ana karta ulaşmıştır. Şekil 6.1.3'de ana kart tarafından raporlanan test sonucu gösterilmiştir.

```

LIN HABERLEŞME VERİMİ
HABERLEŞME HIZI.....: 2400 Baud
TOPLAM OKUNAN KARAKTER SAYISI.....: 10000 Adet
HATALI OKUNAN KARAKTER SAYISI.....: 10000 Adet
-

```

Şekil 6.1.3: LIN 2400 baud haberleşme test sonucu.

Son olarak haberleşme hızı 1200 baud olarak ayarlanmış ve birkaç kez yapılan testlerin hepsinin sonucunda gönderilen tüm karakterlerin tamamının başarılı şekilde ana kart tarafından okunduğu görülmüştür. Test sonucunu bildiren ekran çıktısı Şekil 6.1.4'te gösterilmiştir.

```

LIN HABERLEŞME VERİMİ
HABERLEŞME HIZI.....: 1200 Baud
TOPLAM OKUNAN KARAKTER SAYISI....: 10000 Adet
HATALI OKUNAN KARAKTER SAYISI....: 0 Adet
-
|

```

Şekil 6.1.4: LIN 1200 baud haberleşme test sonucu.

LIN yapısı gereği gürültüye karşı bağışıklığı kuvvetli olmayan bir haberleşmedir. Her ne kadar 1200 baudta karakterlerin tamamı başarılı olarak okunmuş olsa da haberleşmenin daha sağlıklı olabilmesi için veri bloklarının sonuna bir CRC verisi eklenmeli ya da haberleşmede parite(parity) seçeneği aktif edilmelidir.

6.2. CAN Haberleşmesi Verimi

CAN haberleşmesinde protokolün yapısı ve CRC kontrolü donanım tarafından yapılır. Bu yüzden hatalı veri iletimi kontrolünün yazılım tarafından yapılmasına gerek yoktur. CAN yapısı gereği bu kontrolü donanımın kendisi yapmaktadır. Ayrıca CAN'ın diğer haberleşmelere göre en önemli avantajı gürültülere karşı bağışıklığının kuvvetli olmasıdır.

6.3. Pil Şarj Akımının Okunması

Şarj sırasında çocuk karttan pile basılan akım miktarı ADS1114 entegresi ve yol üzerindeki 0.020Ω %1'lik direnç yardımıyla ölçülür. Ölçülen akımın çözünürlüğü $390.625 \mu A$ 'dir. Akım okuma testlerinde önce çıkışa bir pil bağlı değilken (çıkıştan hiç akım çekilmiyorken) cihazın çekilen akımı kaç gördüğüne bakılacaktır. Daha sonra çıkışa bir yük takılıyken çekilen akım miktarı ölçülecek ve referans bir ölçü aleti ile karşılaştırılacaktır.

Çıkıştan akım çekilmiyorken çocuk kart şarj moduna getirilmiş ve hesaplanan akımlar ana kart üzerinden gözlemlenmiştir. Şekil 6.3.1'de ölçümlerin sonucuyla ilgili bir rapor bulunmaktadır.

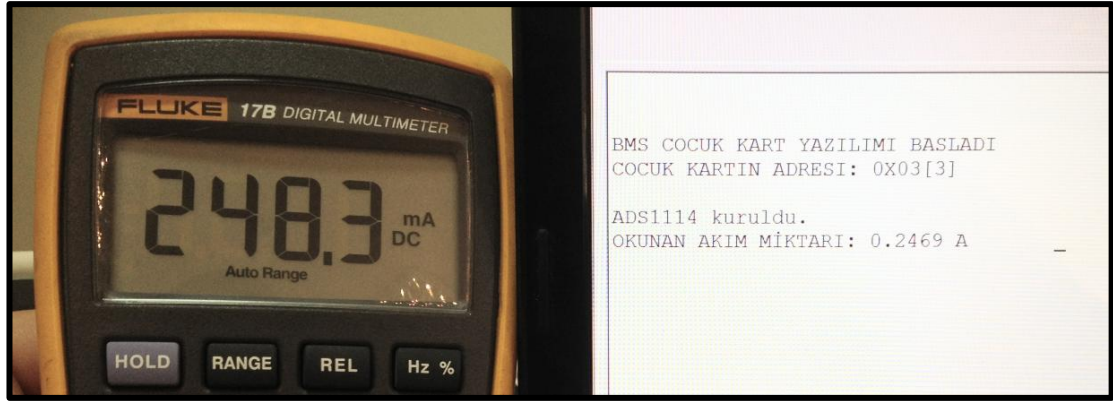
COCUK KARTTAN GELEN SARJ BILGILERI	
ID.....	0X03
SARJ AKIMI MIKTARI.....	0.000 A
YUKLELEN ENERJİ MIKTARI.....	0.00001 mAh
GECEN SURE.....	105.865 s
BATARYAYA UYGULANAN GERİLİM.....	3912 mV
REG. DUTY ORANI.....	0.00
-	

Şekil 6.3.1: Çıkıştan akım çekilmezken akım ölçüm sonucu.

Ekran çıktısında bulunan bilgilerden 'ID' o anda ölçüm sonuçları ekrana basılan çocuk kartın numarasını, 'ŞARJ AKIMI MIKTARI' o anda pile basılan akımın amper cinsinden miktarını, 'YUKLELEN ENERJİ MIKTARI' o zamana kadar pile yüklenen mAh cinsinden şarj miktarını, 'GECEN SURE' o zamana kadar saniye cinsinden geçen süreyi, 'BATARYAYA UYGULANAN GERİLİM' mV cinsinden bataryanın gerilim değerini ve 'REG. DUTY ORANI' ise bataryanın önündeki buck regülatörün yüzde olarak anahtarlama oranını belirtmektedir.

Şekil 6.3.1'de gösterilen sonuçlardan da görüldüğü üzere 105 sn boyunca ölçüm yapılmış ve gürültülerden dolayı yapılan hatalı ölçümlerin sebebiyle bataryaya aktarıldığı hesaplanan enerji miktarı 0.01 μ Ah'dir. Bu değer göz ardı edilebilecek kadar küçük bir değerdir.

Çocuk kartın pil soketine 15 Ω değerine sahip bir direnç takılmıştır. Çıkıştan geçen akımın ölçümü aynı anda hem çocuk kart kullanılarak hem de kalibrasyonu yapılmış Fluke marka bir ölçü aleti kullanılarak yapılmıştır. Şekil 6.3.2'de ölçüm sonucunu gösteren bir resim bulunmaktadır.



Şekil 6.3.2: Akım ölçüm sonucu.

Çocuk kartın okuduğu akım değeri 246.9 mA iken ölçü aleti akım değerini 248.3mA okumuştur. Hata miktarı yaklaşık %0.56'dır. Çocuk kart üzerinde bulunan shunt direncin %1 hassasiyetinde olması bu hatanın oluşmasına neden olmuştur. Hatayı elemine etmek için kart üzerindeki shunt direncin gerçek ohm değeri bir miliohmeter ile ölçülerek gerçek değer üzerinden hesaplama yapılabilir. Bu işlem sonucunda hesaplama için kullanılan yeni direnç değeri hata oranını daha da düşürecektir.

6.4. Pilin Şarj Edilmesi Testi

Pilin şarj edilmesi sırasında CCCV yöntemi kullanılır. Bu yöntemde göre şarj işlemi belli bir gerilimin üstünde ve belli bir akımın üstünde yapılmamalıdır. Donanım bu yöntemi destekleyecek şekilde tasarlanmıştır.

Önce sabit gerilim ile şarj işlemini test etmek için yazılımda ki maksimum şarj geriliminin değeri 3.9V'a ayarlanmış ve çocuk kart üzerinde yapılan şarj işlemi ana kart üzerinden izlenmiştir. Şekil 6.4.1'de test devam ederken çekilmiş olan bir ekran çıktısı bulunmaktadır.

```

COCUK KARTTAN GELEN SARJ BILGILERI
ID.....: 0X03
SARJ AKIMI MIKTARI.....: 0.689 A
YUKLENEN ENERJİ MIKTARI.....: 2.56749 mAh
GECEN SURE.....: 17.716 s
BATARYAYA UYGULANAN GERİLİM.....: 3896 mV
REG. DUTY ORANI.....: 89.53

```

Şekil 6.4.1: Sabit gerilim şarj testi.

Ekran çıktısında görüldüğü üzere gerilim sabitlemesi işlemi 3.9V'ta çok yakın bir gerilim olan 3.896V'ta kilitlemiş ve regülatörün duty değeri %89.53'te sabit bırakılmıştır.

Akım sabitleme özelliğinin testi için ise akım sınırı değeri yazılımda 1A'e ayarlanmış ve ana kart üzerinden çocuk kartta gerçekleşen şarj işlemi gözlemlenmiştir. Şekil 6.4.2'de bu gözlem sırasında yakalanan bir ekran çıktısı bulunmaktadır.

```

COCUK KARTTAN GELEN SARJ BILGILERI
ID.....: 0X03
SARJ AKIMI MIKTARI.....: 0.999 A
YUKLENEN ENERJİ MIKTARI.....: 5.21315 mAh
GECEN SURE.....: 21.279 s
BATARYAYA UYGULANAN GERİLİM.....: 3956 mV
REG. DUTY ORANI.....: 94.53

```

Şekil 6.4.2: Sabit akım şarj testi.

Ekran çıktısından görüldüğü üzere akım 1A'e çok yakın bir değer olan 0.999A'de kilitlemiş ve duty değeri 94.53'e ayarlanarak sabit tutulmuştur.

6.5. Deşarj Sırasında Akımın Okunması

Deşarj akımı ana kartın üzerindeki akım trafosu üzerinden okunmaktadır. Kullanılan akım trafosu LEM marka HAIS 50-P olup, $\pm 150A$ akım ölçebilme kapasitesine sahiptir. %1 hassasiyetle akım okuyabilir ve pozitif ve negatif besleme gerektiren birçok akım trafosunun aksine tek 5V ile çalışabilmektedir.

Deşarj akımı okuma ölçümleri iki aşamada yapılmıştır. Bunlardan ilkinde hattın akım geçmiyorken akım trafosundan okunan akım değeri gözlemlenmiştir. İkinci testte ise hattın 1A geçiyorken hattın okunan akım miktarı gözlemlenmiştir. Şekil 6.5.1'de hattın akım geçmiyorken işlemci tarafından akım trafosu çıkışından alınan 10000 örneğin ortalaması gösterilmiştir.

```
ALINAN ORNEKLERIN ORTALAMASI:-0.006912044643984419
EKRANI YENILEMEK İÇİN 'ESC' TUŞUNA BASIN!_
```

Şekil 6.5.1: Akım geçmiyorken akım trafosundan okunan ortalama akım.

Görüldüğü üzere ortalama akım 150A'ın yanında çok küçük kalan 6.9mA olarak ölçülmüştür. Bu değer akım trafosundan yapılan okumanın analog-dijital çevrimi sırasında yapılacak olan bir bitlik hatanın yaklaşık 10'da biridir (Bkz. 4.1.9).

Ölçümün ikinci adımında ayarlı bir akım kaynağı kullanılarak hattın 1A geçirilmiştir. Referans akım ölçümü Fluke 17B model ölçü aleti ile yapılmış ve geçen akım miktarı bu ölçü aletinde 1.000A olarak ölçülmüştür. Şekil 6.5.2'de hattın 1A akım geçiyorken işlemci tarafından akım trafosu çıkışından alınan 10000 örneğin ortalaması gösterilmiştir.

```
ALINAN ORNEKLERIN ORTALAMASI:1.076388068146455500
EKRANI YENILEMEK İÇİN 'ESC' TUŞUNA BASIN!_
```

Şekil 6.5.2: 1A akım geçiyorken akım trafosundan okunan ortalama akım.

Görüldüğü üzere okumada yapılan hata yaklaşık 76.4mA'dir. Bu değer 1 bitlik okuma hatasına yakın bir değerdir (Bkz. 4.1.9). Bu yüzden göz ardı edilebilir.

7. KARTLARIN GÜÇ HARCAMA TESTLERİ

Ana kartın ve çocuk kartın kartlar uyku modundayken çektiği akım miktarları ve harcadığı güçler beşinci bölümde anlatılmıştı. Bu bölümde kartlar tüm fonksiyonlarıyla çalışırken harcadığı güçler hesaplanmıştır.

7.1. Ana Kartın Güç Harcama Testi

Ana kartın tek besleme girişi vardır. Yapılan testlerde bu besleme girişine 48V gerilim uygulanmıştır. Kartın tüm fonksiyonları açıkken ve işlemci maksimum hızda çalışırken çektiği ortalama akımın 17.7mA olduğu görülmüştür. Bu durumda ana kartın tüm fonksiyonları açıkken harcadığı güç miktarı Eşitlik 7.1.1'de gösterilmiştir.

$$48 \cdot 0.0177 = 0.8496 \text{ W} \quad (7.1.1)$$

7.2. Çocuk Kartın Güç Harcama Testi

Çocuk kartın (forward regülatör kartıyla birlikte) 3 adet besleme girişi bulunmaktadır. Çocuk kartlar pilleri şarj edeceği için bir güç çıkışı olacaktır. Bu yüzden çocuk kartlar için bir verim hesabından bahsedilebilir. Çocuk kartlar için yapılan verim testlerinde çıkış 1A'e sınırlanıyorken, çıkış 2A'e sınırlanıyorken ve çıkış akımı sınırlanıyorken olmak üzere 3 kademeli test yapılmıştır. Fakat verim testlerine geçilmeden önce çocuk kartın tüm birimleri aktifken, işlemci maksimum hızda çalışırken ve çıkıştan akım çekilmiyorken çocuk kartın besleme hatlarından çektiği güçler Tablo 7.2.1'de verilmiştir.

Tablo 7.2.1: Çocuk kartın harcadığı güç miktarları.

Hattın Gerilimi	Hattan Çekilen Akım	Hattan Çekilen Güç
48V	2.70mA	0.1296W
12.4V	7.83mA	0.097W
5.13V	1.68mA	0.0086W
Toplam Harcanan Güç		0.235W

Verim testlerinde çıkışa pil yerine direnç takılmış ve ilk aşamada akım yazılımla 1A'e sınırlandırılmıştır. Sınırlandırma işlemi işlemci kontrollü olan buck regülatör ile yapılmaktadır (Bkz. 4.2.4 ve 6.4). Test sırasında yapılan ölçümlerin sonuçları şu şekildedir:

- Çıkışta ölçülen gerilim 2.285V
- Çıkıştan çekilen akım 1.0A
- Çıkışa basılan toplam güç 2.29W
- 48V'tan çekilen akım 73mA
- 12.4V'tan çekilen akım 9.18mA
- 5.13V'tan çekilen akım 2.33mA
- Beslemelerden çekilen toplam güç 3.63W
- Verim % 63.1

İkinci aşamada akım yazılımla 2A'e sınırlandırılmış ve aynı ölçümler çıkıştan 2A basılırken yapılmıştır. Yapılan ölçümler şu şekildedir:

- Çıkışta ölçülen gerilim 2.375V
- Çıkıştan çekilen akım 2.0A
- Çıkışa basılan toplam güç 4.75W
- 48V'tan çekilen akım 151mA
- 12.4V'tan çekilen akım 9.85mA
- 5.13V'tan çekilen akım 2.33mA
- Beslemelerden çekilen toplam güç 7.38W
- Verim % 64.4

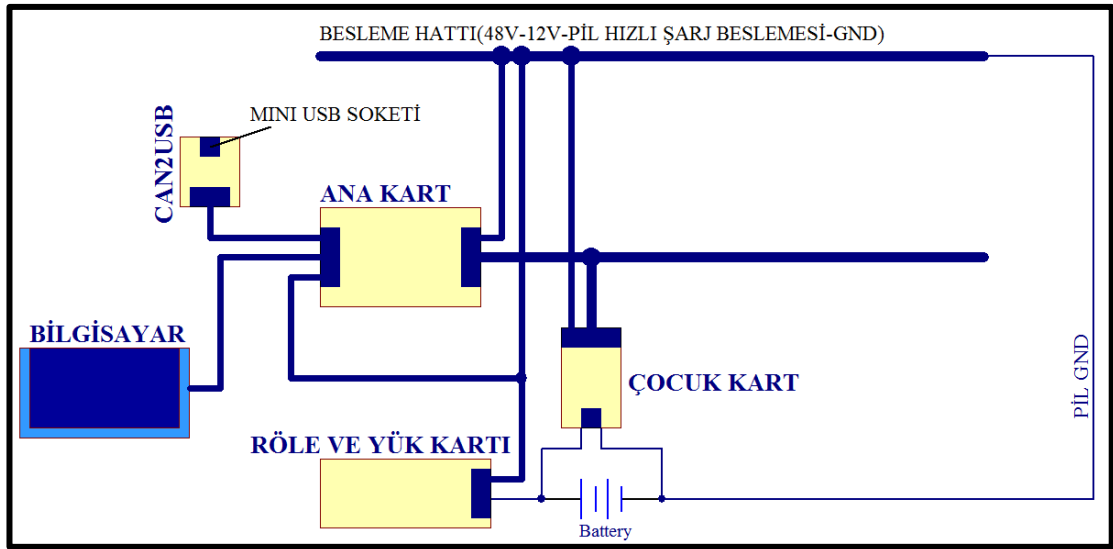
Görüldüğü üzere çekilen akımın artması verimi çok fazla değiştirmemiştir. Son olarak yapılan testte akım sınırlandırması yapılmayarak çıkışı kontrol eden mosfet tamamıyla açılmıştır. Bu durumda yapılan ölçümler şu şekildedir:

- Çıkışta ölçülen gerilim 3.890V
- Çıkıştan çekilen akım 1.7A
- Çıkışa basılan toplam güç 6.61W
- 48V'tan çekilen akım 192mA
- 12.4V'tan çekilen akım 10.1mA
- 5.13V'tan çekilen akım 2.33mA
- Beslemelerden çekilen toplam güç 9.35W
- Verim % 70.7

Görüldüğü üzere verim artmıştır. Bunun en önemli sebebi mosfeti anahtarlama sırasında enerji kaybının son testte olmamasıdır. Bu test bize şu sonucu çıkartmıştır. Forward regülatör de anahtarlama yaparak çalışır, pilin önündeki işlemci kontrollü buck regülatörde. Bu durumda buck regülatörle 4.2V olan forward regülatör çıkışını düşürmek yerine, forward regülatörün çıkışı işlemci ile kontrol edilebilir. Bunun için Şekil 4.2.8.2'de gösterilen geri besleme devresi işlemci ile kontrol edilerek forward regülatör çıkış gerilimi istenen değere ayarlanabilir. Böylece anahtarlardan dolayı yaşanan kayıplar azaltılmış olacaktır.

8. ŞARJ – DEŞARJ TESTİNİN SONUÇLARI

Bu bölümde sisteme bağlanan bir pil üzerinde yapılan şarj deşarj testinin sonuçları anlatılacaktır. Bu testi yapmak için önce bir test düzeneği kurulmuştur. Test düzeneğinin genel blok şeması Şekil 8.1'de gösterilmektedir.

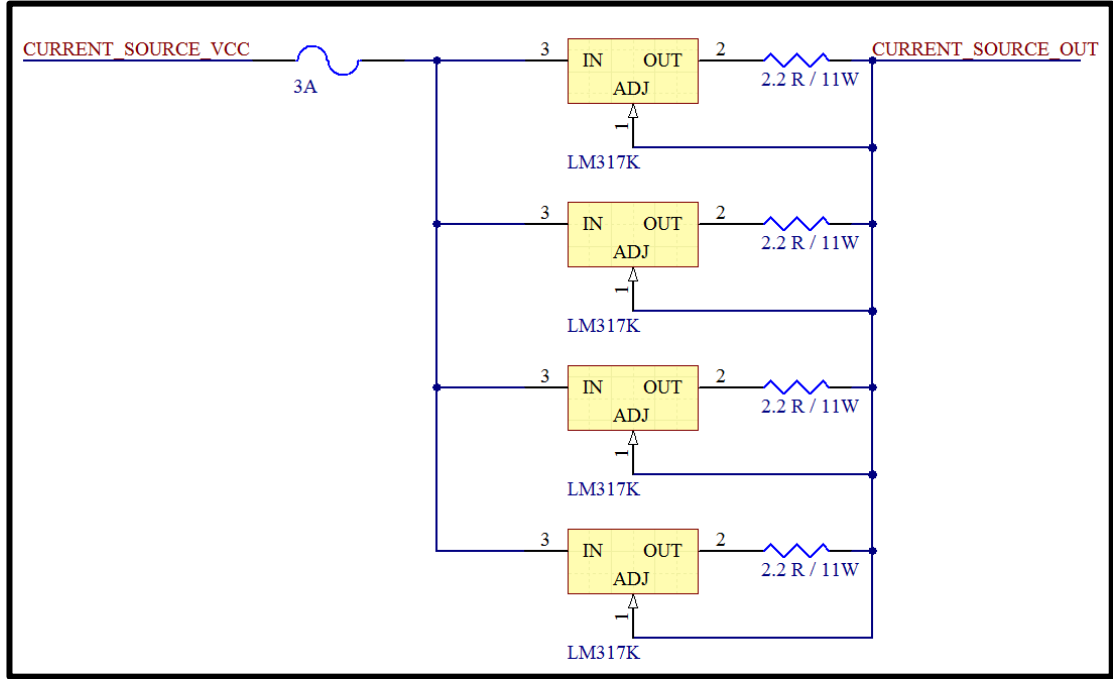


Şekil 8.1: Test Düzeneği Genel Blok Şeması

Test düzeneğinde, hızlı şarj için gerekli olan akım kaynağı, deşarj için gerekli olan yükler ve bağlantının bu iki sistem arasındaki geçişini sağlayacak olan röleler Şekil 8.1'deki diyagramda gösterilen 'Röle ve Yük Kartı' üzerinde bulunmaktadır. Hızlı şarj, hassas şarj ve deşarj modları arasındaki geçiş ise ana kart ile kontrol edilmekte ve sisteme ait o anki durum bilgileri haberleşme hattı üzerinden bilgisayara gönderilmektedir.

Sistem, çalışması için 3 farklı besleme gerilimine ihtiyaç duyar. Bunlardan 48V ana kartın ve çocuk kartın çalışması için gerekli olan besleme hattıdır. 12V 'Röle ve Yük Kartı' üzerindeki rölelerin enerjilendirilmesi için kullanılmaktadır. Pillere hızlı şarj sırasında uygulanabilecek maksimum gerilim ise o anda hatta bağlanan pil sayısına göre değişiklik göstereceğinden ayarlanabilir bir güç kaynağı üzerinden verilmiştir. Hızlı şarj

sırasında pillere gönderilecek olan akım basit bir akım kaynağı devresi üzerinden verilmiştir. Akım kaynağı devresi Şekil 8.2'de gösterilmektedir.

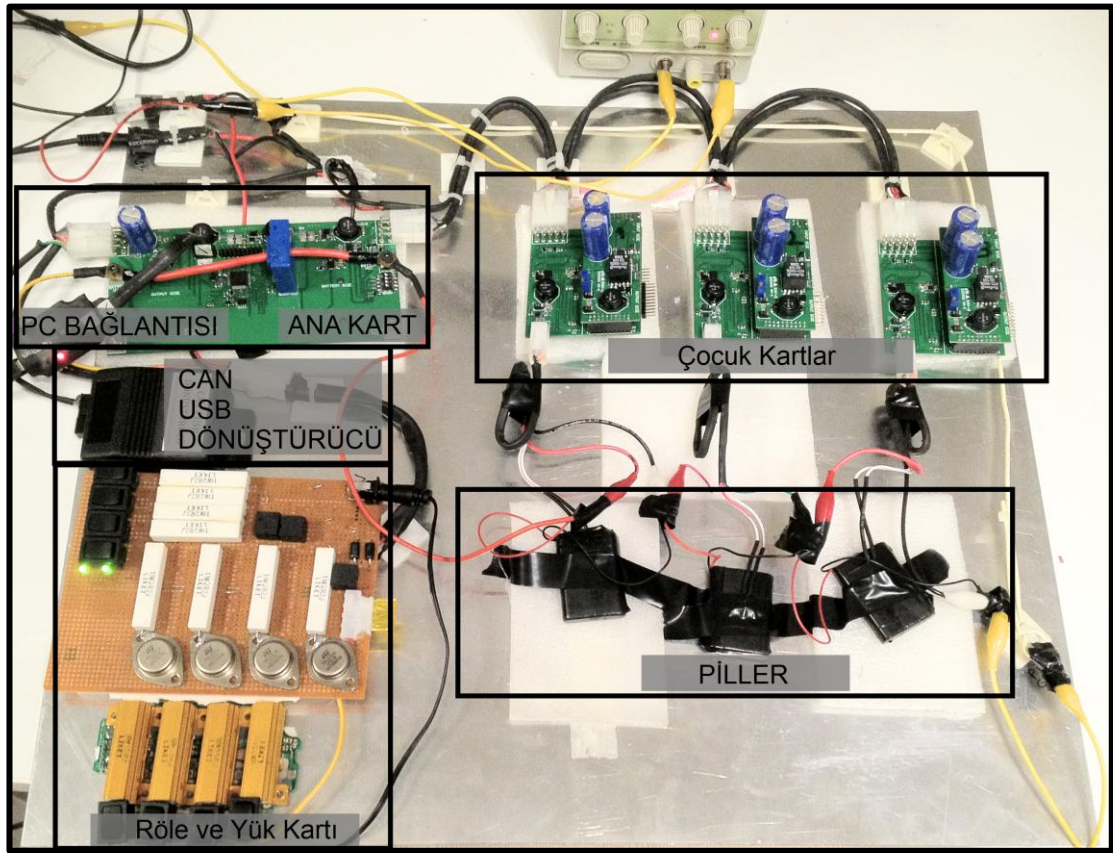


Şekil 8.2: Akım kaynağı devre şeması.

Şekil 8.2'deki devrede geçen LM317'ler çalışma yapısı gereği OUT bacağı ile ADJ bacağı arasındaki gerilimi 1.25V'a sabitlerler [31]. Bu yüzden her bir LM317'den çekilebilecek maksimum akım yaklaşık 0.57A'dır. Daha yüksek akım çekilmeye çalışıldığında devre çıkış gerilimini düşürerek akımın her biri için 0.57A'e düşmesini sağlar.

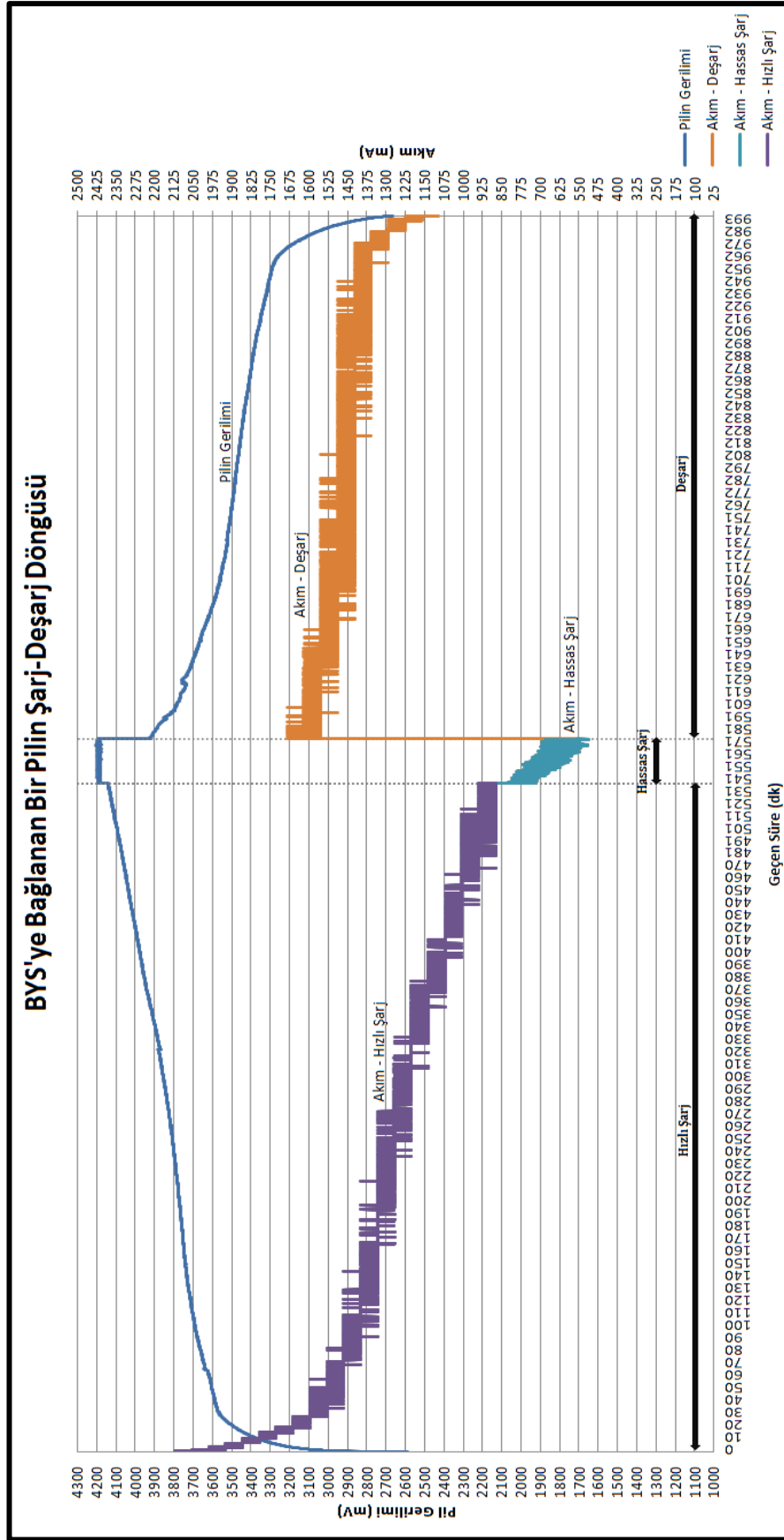
Sisteme 11Ah'lik bir pil takılmış ve önce deşarj işlemi yapılarak pilin boşaltılması sağlanmıştır. Daha sonra ana karta bilgisayar üzerinden şarj-deşarj döngüsüne başlama komutu gönderilmiş ve teste ait çıktılar bilgisayar üzerinde kaydedilmiştir. Hızlı şarj için, şarjın sonlanacağı gerilim 4.190V, şarjın sonlanacağı minimum akım (bu akımdan daha düşük bir akım çekildiğinde hızlı şarj işlemi sonlandırılır) 0.900A, hassas şarj için şarjın sonlanacağı gerilim 4.190V, şarj sırasındaki akım sınırı 0.800A, şarjın sonlanacağı minimum akım 0.550A ve deşarj için pilin düşmesine izin verilecek minimum gerilim miktarı ise 2.700V olarak ayarlanmıştır. Bu

değerler pillerin teknik dokümanındaki bilgilere göre oluşturulmuştur. Test için kullanılan test düzeneğinin bir resmi Şekil 8.3'te gösterilmiştir.



Şekil 8.3: Test düzeneği.

Döngü tamamlandığında pile yüklenen toplam şarj 11.645Ah, pilden çekilen toplam enerji ise 10.288Ah olarak hesaplanmıştır. Bir döngü sırasında pilin geriliminin ve pilden geçen akımların değişim grafiği Şekil 8.4'te gösterilmektedir.



Şekil 8.4: Pil şarj-deşarj döngüsü, akım-gerilim grafiği.

9. KARTLARIN MALİYET ÇALIŞMASI

Bu bölümde kartların maliyetleri üzerinde yapılan çalışmalardan bahsedilecektir. Baskı devreler Çin'de bir firmaya yaptırılmış olup yaklaşık PCB fiyatları için bu firmadan gelen fatura bilgileri kullanılmıştır. PCB fiyatlarında sadece bir kez alınan ve 'tooling' ücreti olarak isimlendirilen ücret dâhil edilmemiştir. Kartlarda kullanılan elemanlar için birim fiyatları Farnell, Digikey ve Aliexpress siteleri üzerinden 1000 adet için hesaplanmış olup, 1000 adet için fiyat alınamayan elemanlarda en yakın paket için verilen fiyatlar kullanılmıştır.

Kartlar için çıkarılan maliyet tablolarında sadece PCB fiyatı ve üzerindeki elemanların fiyatları göz önüne alınmıştır. Bu iki kalem için yapılan fiyatlar da kesin değil tahmini fiyatlardır. Özellikle kullanılan elemanların fiyatlarının hesabı için kullanılan kaynakların (Farnell, Digikey, Aliexpress) üretici firmadan ya da distribütörlerden çok daha pahalıya sattığı bilinmektedir.

Ana kart için yapılan maliyet çalışması Tablo 8.1'de gösterilmektedir.

Tablo 8.1: Ana Kart Maliyet Tablosu.

PCB Tane Fiyatı	1.40 \$
Bir Batarya Paketinde Kullanılacak Ana Kart Miktarı	1 Adet
Bir Ana Karttaki Elemanların Toplam Tutarı	37.91 \$
Bir Ana Kartın Toplam Maliyeti	39.31 \$

Çocuk kart için yapılan maliyet çalışması Tablo 8.2'de gösterilmektedir.

Tablo 8.2: Çocuk Kart Maliyet Tablosu.

PCB Tane Fiyatı	0.58 \$
Bir Batarya Paketinde Kullanılacak Çocuk Kart Miktarı	12 Adet
Bir Çocuk Karttaki Elemanların Toplam Tutarı	19.15 \$
Bir Çocuk Kartın Toplam Maliyeti	19.73 \$
Bir Batarya Paketi İçin Çocuk Kartların Toplam Maliyeti	236.76 \$

Forward regülatör kartı için yapılan maliyet çalışması Tablo 8.3'de gösterilmektedir.

Tablo 8.3: Forward Regülatör Kartı Maliyet Tablosu.

PCB Tane Fiyatı	0.29 \$
Bir Batarya Paketinde Kullanılacak Forward Reg. Kartı Miktarı	12 Adet
Bir Forward Reg. Kartındaki Elemanların Toplam Tutarı	9.17 \$
Bir Forward Reg. Kartının Toplam Maliyeti	9.46 \$
Bir Batarya Paketi İçin Forward Reg. Kartların Toplam Maliyeti	113.52 \$

Sonuç olarak bir batarya paketinin PCB ve malzeme fiyatları baz alınarak çıkartılmış maliyeti yaklaşık 390 \$'dır.

10. SONUÇLAR VE GELECEĞE YÖNELİK ÇALIŞMALAR

Bu tez kapsamında gelişmekte olan, elektrikli araçların Batarya Yönetim Sistemleri (BYS) üzerinde araştırmalar yapılıp bir BYS modeli belirlenip tasarımı yapılmıştır.

Tasarlanan donanım basit olarak denenmiş ve tasarımın başarılı bir şekilde çalıştığı görölmüştür. Bundan sonra yapılması gereken bu tasarımın gerçek sistemler (araçlar) üzerinde çalıştırılması ve veriminin gerçek uygulama alanında izlenmesidir. Farklı algoritmalar geliştirilip verimleri bu donanım kullanılarak test edilebilir.

Tasarımın verimini arttırmak için gelişen teknolojiyle ortaya çıkan daha düşük güçlü ve daha geniş gerilim aralığında çalışabilen entegreler kullanılabilir. Özellikle sistemin en fazla enerji harcayan birimleri olan işlemcilerinin ve izolatör birimlerinin iyileştirilmesi verimin arttırılmasında faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] R. S. Kovats, A. Haines, ***Global Climate Change and Health: Recent Findings and Future Steps***; Şubat 2005
- [2] <http://ekonomi.milliyet.com.tr/otomobil-sayisi-1-milyara-ulasi/ekonomi/ekonomidetay/26.08.2011/1431425/default.htm>, [26 Ağustos 2011]
- [3] Michael Kintner-Meyer, Kevin Schneider and Robert Pratt, Pacific Northwest National Laboratory, ***Impacts Assessment of Plug-In Hybrid Vehicles on Electric Utilities and Regional Power Grids, Part 1: Technical Analysis***, 2007
- [4] Li Siguang , Zhang Chengning; ***Study on Battery Management System and Lithium-ion Battery***; 2009
- [5] Ania Monaco; ***A Road Trip Through Time***; Eylül 2011
- [6] M. T. Thompson; ***<http://www.madkatz.com/ev/batteryTechnologyComparison.html>***; Mayıs 2012 tarihinde erişildi.
- [7] ***http://www.renaultelektrikliaraclar.com/file_download.aspx?id=238***, Sayfa 19/24, Haziran 2012 tarihinde erişildi.
- [8] ***<http://www.nissan.com.tr/nissan-leaf/teknik-ozellikler>***, Haziran 2012 tarihinde erişildi.
- [9] ***<http://www.ford.com/electric/focuselectric/2012/>***, Haziran 2012 tarihinde erişildi.

- [10] Bharath Pattipati, Krishna Pattipati, Jon P. Christopherson, Setu Madhavi Namburu, Danil V. Prokhorov, Liu Qiao; ***Automotive Battery Management Systems***; Eylül 2008
- [11] Davide Andrea; ***Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs***; 2010
- [12] Markus Einhorn, Werner Roessler, Juergen Fleig; ***Improved Performance of Serially Connected Li-Ion Batteries With Active Cell Balancing in Electric Vehicles***; Temmuz 2011
- [13] Stephen W. Moore, Peter J. Schneider; ***A Review of Cell Equalization Methods for Lithium Ion and Lithium Polymer Battery Systems***; 2001
- [14] James Moran, ***PowerPump™ Balancing – REV.B***, Ekim 2011
- [15] Davide Andrea; ***Battery Management Systems for Large Lithium Battery Packs***; 2010
- [16] Markus Einhorn, Werner Roessler, Juergen Fleig; ***Improved Performance of Serially Connected Li-Ion Batteries With Active Cell Balancing in Electric Vehicles***; 2011
- [17] P.H.L. Notten, J.H.G. Op het Veld, J.R.G. van Beek; ***Boostcharging Li-ion batteries: A challenging new charging concept***; Şubat 2005
- [18] Antonio Manenti, Andrea Abba, Alessandro Merati, Sergio M. Savaresi, Angelo Geraci; ***A New BMS Architecture Based on Cell Redundancy***; Eylül 2011

- [19] Minxin Zheng, Bojin Qi, Hongjie Wu; ***A Li-ion Battery Management System Based on CAN-bus for Electric Vehicle;***
- [20] Marco Di Natale; ***Understanding and using the Controller Area Network;*** 2008
- [21] Texas Instruments; ***SN65HVDA195-Q1 Teknik Dokümanı: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn65hvda195-q1.pdf>***, 2009;
- [22] Texas Instruments; ***TPS5410 Teknik Dokümanı: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps54160-q1.pdf>***, 2011;
- [23] Fairchild Semiconductor; ***FPF2701 Teknik Dokümanı: <http://www.fairchildsemi.com/ds/FP/FPF2701.pdf>***, 2011;
- [24] LEM; ***H AIS 50-P Teknik Dokümanı: http://www.lem.com/docs/products/hais_e_rev11.pdf***, 2011;
- [25] ST Microelectronics; ***STM32F103RD Teknik Dokümanı: http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00161566.pdf***, 2011;
- [26] Texas Instruments; ***TPS63030 Teknik Dokümanı: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps63030.pdf>***, 2012;
- [27] Texas Instruments; ***TPS2829 Teknik Dokümanı: <http://www.ti.com/lit/ds/sprs289b/sprs289b.pdf>***, 2011;
- [28] Texas Instruments; ***ADS1114 Teknik Dokümanı: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1115.pdf>***, 2009;

- [29] National Semiconductor; **LM5015 Teknik Dokümanı: <https://www.national.com/ds/LM/LM5015.pdf>**, 2009;
- [30] ST Microelectronics; **STM32L151C8 Teknik Dokümanı: http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00277537.pdf**, 2012;
- [31] National Semiconductor; **LM317 Teknik Dokümanı: <https://www.national.com/ds/LM/LM117.pdf>**, 2011;

ÖZGEÇMİŞ

Ertan Aldoğan, 1986 yılında Kayseri’de doğdu. Liseyi Bursa Erkek Lisesi’nde ve lisans eğitimini Uludağ Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Bölümü’nde okudu. Şubat 2009’da lisans eğitimini tamamladı. Şubat 2009’da Gebze’de bir mühendislik firmasında askeri ve otomotiv elektroniği alanda çalışmak üzere Ar-Ge Mühendisi olarak işe başladı. Eylül 2009’da GYTE’de Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda lisansüstü eğitimine başladı.