T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜŞÜK GERİLİMLİ MODÜLER BATARYA YÖNETİMİ SİSTEMİ

Ömer Faruk GÖKSU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektronik Mühendisliği

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Revna ACAR VURAL

Şubat, 2021

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜŞÜK GERİLİMLİ MODÜLER BATARYA YÖNETİMİ SİSTEMİ

Ömer Faruk GÖKSU tarafından hazırlanan tez çalışması 20.02.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı Elektronik Mühendisliği **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Revna ACAR VURAL
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Revna ACAR VURAL, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç.Dr. Burcu ERKMEN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Derya Ahmet Kocabaş, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Revna ACAR VURAL sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Düşük Gerilimli Modüler Batarya Yönetimi Sistemi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Ömer Faruk GÖKSU

İmza

Bu tez çalışmamı anneme
ve babama armağan ederim

TEŞEKKÜR

Tez çalışması süresince bana desteğini esirgemeyen, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan, her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen kıymetli ve danışman hoca statüsünü hakkıyla yerine getiren Dr.Öğr.Üyesi Revna ACAR VURAL'a, prototip üretimlerini ve testlerini yapabilmem için BETAM-Elektronik devre üretim laboratuvarını ve imkanlarını kullanmama izin veren Doç. Dr. Sadullah ÖZTÜRK'e ve her zaman yanımda olan babam ve anneme teşekkür ederim.

Ömer Faruk GÖKSU

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ viii

KISALTMA LİSTESİ ix

ŞEKİL LİSTESİ xi

TABLO LİSTESİ xiv

ÖZET xv

ABSTRACT xvi

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1

1.2 Tezin Amacı 6

1.3 Hipotez 7

2 BATARYALAR ve KONTROL YÖNTEMLERİ 8

2.1 Bataryalar 8

2.1.1 Bataryaya Ait Tanımlar 10

2.1.2 Batarya Karakteristikleri 11

2.1.3 Batarya Şarj Teknikleri 13

2.1.4 Batarya Dengeleme Yöntemleri 13

2.2 Batarya Yönetim Sistemi 16

2.2.1 Batarya Hücrelerinin Ölçümü 17

2.2.2 Şarj ve Deşarj İşlemi 18

2.2.3 Batarya Dengeleme 18

2.2.4 Data Kaydı 18

2.2.5 Haberleşme 19

2.2.6 Güvenlik ve Güvenilirlik 21

2.3 BYS Topolojileri 22

2.3.1 Merkezi Topoloji 22

2.3.2 Modüler Topoloji 22

2.3.3 Dağınık Topoloji 23

3 DÜŞÜK GERİLİMLİ BYS DONANIM TASARIMI **24**
3.1 Sistem Gereksinimleri 24
3.2 Kontrol Birimi 26
3.2.1 Atmega168 Kontrol Birimi 26
3.2.2 STM32F030 Kontrol Birimi 28
3.2.3 Kontrol Birimlerinin Karşılaştırılması 29
3.3 Batarya Açma-Kapama Birimi 30
3.3.1 Batarya Açma-Kapama Birimi Simülasyonu 33
3.3.2 Batarya Açma-Kapama Birimi Prototip Üretimi 35
3.4 Batarya Ölçüm Birimi 36
3.5 Akım Ölçüm Birimi 38
3.6 Batarya Şarj Birimi 40
3.6.1 Birinci şarj birimi 40
3.6.2 İkinci şarj birimi 42
3.6.3 İkinci Şarj Birimi Simülasyonu 44
3.6.4 İkinci Şarj Birimi Prototip Üretimi 45
3.6.5 Batarya Şarj Birimleri Karşılaştırması 46
3.7 İzole Haberleşme Birimi 47
3.8 Senkronizasyon Sinyali İzolasyon Birimi 48
3.9 DG-BYS Modülü 49

4 DÜŞÜK GERİLİMLİ BYS YAZILIMI **53**
4.1 Genel Kontrol Algoritması 54
4.2 Sistem Başlangıç Ayarları 55
4.2.1 Saat Frekans Ayarları 55
4.2.2 Dijital Giriş-Çıkış Pinleri 56
4.2.3 Analog-Dijital Çevirici 57
4.2.4 Kare Dalga Üreteci 58
4.2.5 Zamanlayıcı Birimleri 58
4.2.6 Haberleşme Birimi 59
4.2.7 Analog Ölçüm Kalibrasyonu 61
4.3 Analog Sinyal Ölçümü 61
4.3.1 Analog Referans Gerilim Düzeltmesi 62
4.3.2 Gerilim ve Akım Verisinin İşlenmesi 62
4.4 Batarya Kontrolü 63
4.4.1 Eşik kontrol Yöntemi 64
4.4.2 Bulanık Mantık Kontrol Yöntemi 64
4.5 Şarj Kontrolü 67
4.5.1 Lojik Şarj Kontrolü 68

4.5.2 DGM Şarj Kontrolü 68

5 SONUÇ ve ÖNERİLER **72**

KAYNAKÇA **80**

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **85**

SİMGE LİSTESİ

A	Amper
Ah	Amper-Saat
C	Batarya Sürekli Akım Katsayısı
Hz	Hertz
KB	KiloBayt
Kg	Kilogram
kHz	Hertz
kΩ	kiloOhm
L	Litre
MHz	MegaHertz
mm	milimetre
mΩ	miliohm
MΩ	megaohm
ms	milisaniye
mV	miliVolt
nA	nanoAmper
sn	saniye
V	Volt
Wh	Watt-Saat

KISALTMA LİSTESİ

ADÇ	Analog - Dijital Çevirici
BYS	Batarya Yönetim Sistemi
CANBUS	Denetleyici Alan Ağı - Controller Area Network
CMOS	Bütünleyici Metal Oksit Yarı İletken - Complementary Metal Oxide Semiconductor
CNT	Sayım - Count
DA	Doğru Akım
DG-BYS	Düşük Gerilimli - Batarya Yönetim Sistemi
DGM	Darbe Genlik Modülasyonu
EEPROM	Elektrikle Silinebilir Programlanabilir Sadece Okunabilir Bellek - Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory
GND	Referans - Ground
Li-İon	Lityum İyon
LiPo	Lityum Polimer
MIPS	Birbirine Bağlı Boru Hattı Aşamaları Olmayan Mikroişlemci - Mikroişlemci Mimarisi
MSPS	Saniyedeki örnek sayısı
NiCd	Nikel Kadmiyum
Ni-MH	Nikel Metal Hibrit
NVIC	Yuvalanmış Vektör Kesinti Denetleyicii
PCB	Baskı Devre Kartı - Printed Circuit Board
PID	Oransal-İntegral-Türevsel
PLL	Faz Kilitlemeli Çevrim
PSC	Ölçek

RISC	İndirgenmiş komut takımlı bilgisayar - Reduced instruction set computer
RX	Alıcı
SPI	Seri çevre arayüzü
TPO	Tümleşik Programlama Ortamı
TTL	Transistör - Transistör - Lojik
TX	Verici
UART	Evrensel Asenkron Alıcı / Verici

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Batarya dengeleme teknikleri 14
Şekil 2.2 Direnç ile dengeleme yöntemi 15
Şekil 2.3 Kapasitif anahtarlama yöntemi [46] 15
Şekil 2.4 İndüktif dengeleme yöntemi [47] 15
Şekil 2.5 TTL-RS232 haberleşme protokolü[21] 19
Şekil 2.6 RS485 haberleşme protokolü[21] 20
Şekil 2.7 SPI haberleşme protokolü[21] 20
Şekil 2.8 CANBUS haberleşme protokolü[21] 21
Şekil 2.9 Merkezi topoloji - Blok diyagramı 22
Şekil 2.10 Modüler topoloji - Blok diyagramı 22
Şekil 2.11 Dağınık topoloji - Blok diyagramı 23
Şekil 3.1 Önerilen düşük gerilimli BYS - Blok diyagramı 25
Şekil 3.2 Atmel Atmega168 32 bacaklı yüzey montaj mikrodenetleyicisi 26
Şekil 3.3 Atmega168 kontrol birimi şematik bağlantısı 27
Şekil 3.4 ST Microelectronics STM32F030 32 bacaklı yüzey montaj mikrodenetleyicisi 28
Şekil 3.5 STM32F030 kontrol birimi şematik bağlantısı 28
Şekil 3.6 2 kontrol uçlu batarya açma-kapama birimi şematik bağlantısı 31
Şekil 3.7 DG-BYS çalışma örneği 32
Şekil 3.8 DG-BYS çalışma örneği eşdeğer modeli 32
Şekil 3.9 Açma-kapama birimi LTSpice şematik çizimi 33
Şekil 3.10 Açma-kapama birimi batarya testi (Tekli açma-kapama) 34
Şekil 3.11 Açma-kapama birimi batarya testi (Çoklu açma-kapama) 35
Şekil 3.12 Açma-kapama birimi devre çizimi 35
Şekil 3.13 Açma-kapama birimi prototip üretimi 36
Şekil 3.14 Gerilim bölücü yapı 37
Şekil 3.15 Gerilim bölücü simülasyon şematik çizimi 37
Şekil 3.16 Gerilim bölücü yapı zamana bağlı değişimi a-Batarya gerilimi (Gürültü eklenmiş sinyal), b-Gerilim bölücü filtrelenmiş çıkış sinyali 38
Şekil 3.17 Gerilim bölücü yapı frekans cevabı 38
Şekil 3.18 Akım ölçüm birimi şematik çizimi 40

Şekil 3.19 Akım ölçüm birimi "Vsinyal" gerilimi zamana bağlı değişimi 40
Şekil 3.20 Birinci şarj birimine ait şematik çizim 41
Şekil 3.21 MCP73832 şarj profili 42
Şekil 3.22 İkinci şarj birimine ait şematik çizim 42
Şekil 3.23 İkinci şarj birimi (a) Çalışma örneği (b) Eşdeğer devresi 43
Şekil 3.24 İkinci şarj birimi simülasyon çizimi 44
Şekil 3.25 İkinci şarj birimi simülasyon sonucu 45
Şekil 3.26 İkinci şarj birimi devre çizimi 45
Şekil 3.27 İkinci şarj birimi prototip üretimi 46
Şekil 3.28 İzole haberleşme birimi şematik çizimi 47
Şekil 3.29 Seri haberleşme mesaj paketi 47
Şekil 3.30 Senkronizasyon sinyali izolasyon birimi - Şematik çizimi 48
Şekil 3.31 Birleştirilmiş açma-kapama ve şarj birimleri 49
Şekil 3.32 Açma-kapama ve şarj birimleri laboratuvar testi 49
Şekil 3.33 DG-BYS modülü baskı devre kartı çizimi - Birinci tasarım (a) Ön yüz (b) Arka yüz 50
Şekil 3.34 DG-BYS modülü prototipi - Birinci tasarım (a) Ön yüz (b) Arka yüz . 50
Şekil 3.35 DG-BYS modülü baskı devre kartı çizimi - İkinci tasarım (a) Ön yüz (b) Arka yüz 51
Şekil 3.36 DG-BYS modülü prototipi - İkinci tasarım (a) Ön yüz (b) Arka yüz . 51
Şekil 3.37 DG-BYS modülü prototipi - İkinci tasarım batarya paketi 52
Şekil 4.1 Genel kontrol algoritması akış diyagramı 54
Şekil 4.2 STM32F030 saat frekans ayarı 55
Şekil 4.3 STM32F030 giriş-çıkış pin haritası 56
Şekil 4.4 STM32F030 giriş-çıkış pin ayarlamaları 57
Şekil 4.5 STM32F030 ADÇ birimi ayarları 57
Şekil 4.6 Zamanlayıcı birimi kesme fonksiyonu akış diyagramı 59
Şekil 4.7 Haberleşme algoritması akış diyagramı 60
Şekil 4.8 ADÇ birimi kesme fonksiyonu akış diyagramı 61
Şekil 4.9 Akım sensörü akım-çıkış grafiği 63
Şekil 4.10 Batarya kontrol - Eşik kontrol yöntemi akış diyagramı 64
Şekil 4.11 Bulanık mantık blok diyagramı [31] 65
Şekil 4.12 Bulanık mantık - Gerilim değeri üyelik fonksiyonu 66
Şekil 4.13 Bulanık mantık - Gerilim değişim değeri üyelik fonksiyonu 67
Şekil 4.14 Bulanık mantık kontrolcü - Giriş / çıkış grafiği 67
Şekil 4.15 Lojik şarj kontrolü akış diyagramı 68
Şekil 4.16 Şarj referans gerilim kontrolü akış diyagramı 69
Şekil 4.17 Giriş 1 - Anlık akım değeri üyelik fonksiyonları 70
Şekil 4.18 Giriş 2 - Anlık gerilim değeri üyelik fonksiyonları 71

Şekil 4.19 Çıkış - DGM doluluk oranı değişimi üyelik fonksiyonları 71
Şekil 5.1 DG-BYS modülü batarya şarj gerilim-akım grafiği 73
Şekil 5.2 Üç hücreli batarya paketi şarj grafiği 74
Şekil 5.3 Modüllere ait DGM sinyalleri 74
Şekil 5.4 Şarj giriş değeri - DGM doluluk oranı grafiği 75
Şekil 5.5 Bulanık mantık kontrolcüsü ile batarya deşarj kontrolü 76
Şekil 5.6 Akım değeri yerleşim grafiği - PID kontrolcü 77
Şekil 5.7 Akım değeri yerleşim grafiği - Bulanık mantık kontrolcü 77
Şekil 5.8 Şarj akımı verimlilik grafiği 78

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Batarya tiplerine göre özellikleri [39, 40] 11
Tablo 3.1 Kontrolcü yapılarının özellikleri 30
Tablo 3.2 2 kontrol uçlu batarya açma-kapama birimi komponent listesi 31
Tablo 3.3 MOSFET transistörleri elektriksel özellikleri 31
Tablo 3.4 Açma-kapama birimi prototipi test sonuçları 36
Tablo 3.5 Birinci şarj birimi malzeme listesi 40
Tablo 3.6 İkinci şarj birimi parça listesi 43
Tablo 3.7 Şarj birimleri karşılaştırma tablosu 46
Tablo 4.1 Seri haberleşme birimi özellikleri 59
Tablo 4.2 Analog ölçüm kalibrasyon değerleri 61
Tablo 4.3 Bulanık mantık kural tablosu (Deşarj) 66
Tablo 4.4 Bulanık mantık kontrolcü kural tablosu (Şarj) 71
Tablo 5.1 Kullanılan bataryaya ait teknik özellikler [51] 72
Tablo 5.2 Kontrol yöntemleri performans karşılaştırma tablosu [51] 76
Tablo 5.3 Şarj birimlerinde kullanılan devre elemanlarında harcanan enerji . 78

ÖZET

Düşük Gerilimli Modüler Batarya Yönetimi Sistemi

Ömer Faruk GÖKSU

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Revna ACAR VURAL

Gelişen teknoloji ve fosil kaynakların azalması ile elektrik enerjisi ön plana çıkmaktadır. Elektrik enerjisinin kullanımını kolaylaştırmak için depolanması gerekmektedir. Günümüz ihtiyaçlarına göre depolama yeri olarak kullanılan bataryalar da geliştirilmektedir. Belli standartlara göre üretilen bataryalar kullanım yerine göre belli adetlerde seri ve paralel olarak bağlanmakta, kullanıldıkları sisteme sabit bir gerilim sağlamaktadır. Bu bataryaların oluşturduğu gruplara batarya paketi denmektedir. Bu tez çalışmasında, batarya paketlerinden en yüksek verimi almak, bataryaları sağlıklı şekilde çalıştırmak ve modüler güç üniteleri oluşturmak amacı ile batarya paketlerini kullanılan sisteme göre uyarlayabilen, kullanım sırasında bulanık mantık kontrolcü ve PID kontrolcü gibi çeşitli teknikler ile bataryaların kullanım süresini arttıran düşük gerilimli batarya yönetim sistemi üretilmiş ve test edilmiştir. Bu sistem ile düşük güç ihtiyacı olan sistemlerde %40'a varan kullanım süresi artışı elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Batarya yönetim sistemi, modüler batarya paketi, bulanık mantık kontrolcü

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ABSTRACT

Low Voltage Modular Battery Management System

Ömer Faruk GÖKSU

Department of Electronics and Communications Engineering
Master of Science Thesis

Advisor: Asist. Prof. Dr. Revna ACAR VURAL

With the developing technology and the decrease of fossil resources, electrical energy comes to the fore. To facilitate the use of electrical energy, it must be stored. Batteries used as storage areas are also being developed according to today's needs. Batteries produced according to certain standards are connected in series and in parallel in certain numbers according to the place of use, and provide a constant voltage to the system in which they are used. The groups formed by these batteries are called battery packs. In this thesis, a low-voltage battery management system that can adapt the battery packs to the system used in order to get the highest efficiency from the battery packs, to run the batteries properly and to create modular power units, which increases the usage time of the batteries with various techniques such as fuzzy logic controller and PID controller during use. Manufactured and tested. With this system, an increase in usage time of up to %40 has been achieved in systems with low power requirement.

Keywords: Battery management system, modular battery pack, fuzzy logic controller

1
GİRİŞ

Tez kitabı 5 bölümden oluşmaktadır: Giriş, Bataryalar ve Kontrol Yöntemleri, Düşük Gerilimli Batarya Yönetim Sistemi (BYS) Donanım Tasarımı, Düşük Gerilimli BYS Yazılımı, Sonuç ve Öneriler. Giriş bölümünde literatür özeti, tezin amacı ve hipotez verilmiştir. Bataryalar ve Kontrol Yöntemleri bölümünde bataryalar, batarya yönetim sistemi ve BYS topolojileri hakkında teorik bilgiler verilmiştir. Düşük Gerilimli BYS Donanım Tasarımı bölümünde bu çalışmada gerçekleştirilen yapının genel sistem gereksinimleri ve yapı içerisinde bulunan birimler verilmiştir. Düşük Gerilimli BYS Yazılım Tasarımı bölümünde gerçekleştirilen birimlerin kontrolü için geliştirilen yazılımlar verilmiştir. Sonuç ve Öneriler bölümünde, bu çalışmada gerçekleştirilen yapıların ve sistemin testleri verilmiştir.

1.1 Literatür Özeti

Farklı batarya tipleri arasında Lityum-İyon (Li-İon) tipi bataryalar diğer batarya tiplerine göre ticari olarak daha yaygın hale gelmiştir. Li-İon tipi bataryaların diğer batarya tiplerine göre daha yüksek gerilim seviyesine sahip olması, daha uzun ömürlü olması, yüksek enerji yoğunluğuna sahip olması ve bu özelliklerinin yanında daha güvenli olması bu batarya tipinin daha yaygın olmasını sağlamaktadır [1].

Yaygın biçimde kullanılmalarına ve avantajlarına rağmen, taşıdıkları riskler yüzünden harici bir sistemin kontrolüne ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sistemler, batarya durumunu gözlemleyerek bataryaların sağlıklı bir şekilde çalışmasını sağlamakla görevlidir. Batarya durumu gözlenirken, bataryaların gerilim seviyeleri, bataryalardan çekilen anlık akım, batarya sıcaklıkları gibi bilgiler kullanılmaktadır. Bazı sistemler, bu bilgileri kullanıcıya iletmek için ek özelliklere sahiptir. Genel olarak bu sistemler Batarya Yönetim Sistemi (BYS) olarak adlandırılmaktadır.

Kullanılan bataryalar, 1.2 V ile 4.2 V arasında değişen farklı gerilim seviyelerine sahip olabilmektedir. Li-İon tipi bataryalar, 4.2 V gerilim seviyesine sahiptir. Bataryalar arasında, 4.2 V yüksek bir seviye olsa bile çoğu elektrikli sistem için düşüktür.

Gerekli gerilim seviyelerine ulaşmak için, bataryalar seri bağlanarak batarya paketleri oluşturulmaktadır. Batarya paketleri, her elektrikli sistem için değişkenlik gösterebilmektedir. Bu sebeple, farklı hücre sayısına sahip batarya paketlerinin kontrolü için, farklı BYS'ler kullanılmaktadır. BYS'ler, genel olarak tek bir batarya tipi ve sabit batarya sayısı ile çalışacak şekilde tasarlanabilmesinin yanında, farklı batarya tiplerine ve batarya sayısına uyum sağlayacak şekilde tasarımlar da mevcuttur [2]. Bu tür tasarımlar, seri üretimde maliyetin düşmesine ve elektriksel sistemde değişiklik yapıldığı zaman hızlı uyum sağlanmasına olanak sağlamaktadır.

Literatürde, bazı özel yapılar için çalışmalar yapılmıştır. Asumadu [2] çalışmasında sabit sayıya sahip batarya paketi kullanmış ve bataryaya ait belirli kullanım parametrelerini okuyarak kullanıcıya iletmiştir. Sistemin çıkışına bağlanan yük profili bellidir. Batarya paketinin özellikleri sabit kaldığından, merkezi topolojiye sahip BYS tasarlanmış, batarya paketine ait sıcaklık verisi, batarya hücrelerinin çalışma durumu, gerilim ve akım ölçümü verileri telemetri sistemi üstünden kullanıcıya sunulmuştur. 27 adet batarya hücresinin bağlandığı bu çalışmada, tüm hücreler seri bağlanmıştır ve bu yapı çalışma esnasında değiştirilememektedir. BYS mikrodenetleyici kontrollü olarak tasarlanmıştır. Gerilim ölçümleri için, hücrelerin gerilim seviyelerinin mikrodenetleyici analog-dijital çevirici (ADÇ) girişine uygun olması için gerilim bölücü yapı kullanılmıştır. Alınan veriler RS232 ve RS485 seri haberleşme protokolleri üstünden paylaşılmaktadır. Sabit bir tasarım olması, bu çalışmanın modüler olmasını engellemektedir ve sadece gözlem yapan bu sistem bataryaların/batarya paketinin kullanım ömrünü uzatmamaktadır.

Sabit yapıya sahip BYS tasarımları farklı sistemler ile kullanıma uygun olmadığı için, maliyet ve tasarım süresi artmaktadır. BYS modülerliğini arttırmak amacı ile Hag[3] genişletilebilir bir modül tasarımı yaparak, ana kontrol kartını değiştirmeden genişletme kartları ile haberleşebilen bir yapı kurmuş ve böylece bağımsız kontrol işlemi yapabilen modüller kullanmıştır. Bu modüller daha sonra verileri ana kontrol kartına iletmektedir. Modüler yapıya sahip olmasına karşın, bu sistemde her modül bir batarya paketinden oluşmakta ve özel gerilim seviyesine sahip sistemler kurulamamaktadır.

Modüler yapının getirdiği dezavantajlardan biri, ana kontrol kartı ile genişletme kartları arasında haberleşme problemleridir. Bu problemler sonucunda yanlış kontrol komutları iletilebilmekte, sonucunda ise batarya paketinin kullanılamaz hale gelmesine sebep olabilmekte, kimyasal yapısı nedeni ile bataryaların alev almasına, patlamasına varan sonuçlara yol açmaktadır. Tehlikeli durumların önüne geçebilmek amacı ile Giegerich[4] ana kontrol kartında ve genişletme kartlarında ikinci kontrolcü ve iletişim hattı kullanmıştır. İkinci kontrolcü, birinci kontrolcüden gelen tüm

komutları ve batarya bilgilerini izleyerek iletişim esnasında bir hata olması durumunda bataryaların güvenli bir şekilde kullanıma kapatılmasını sağlamıştır. Bu sistem güvenliği arttırmasına karşın, kontrol kartlarının boyutlarını, kontrol mekanizmasının karmaşıklığını ve maliyeti arttırmaktadır.

Batarya paketini oluşturan bataryaların tamamen aynı kimyasal yapıya sahip olmadığı görülmektedir. Üretimden veya kullanımdan dolayı oluşan ufak farklılıklar, bataryaların birbirinden farklı şarj ya da deşarj olmasına sebep olmaktadır. Li[5] çalışmasında her batarya için birer modül kullanmış ve bu modüllerin birleştirilmesi ile batarya paketi elde etmiştir. Her batarya modülü üzerinde şarj işlemini gerçekleştiren bir devre yapısı bulunmakta, bu yapı paket içerisinde bulunan bataryaların birbirinden bağımsız şekilde şarj ve deşarj işlemlerini gerçekleştirmektedir. Her modül çıkışında sabit gerilim çıkışını garanti etmesine karşın yapıda kullanılan soket yapıları endüstriyel kullanım için uygun değildir ve sistem kullanıcıya batarya ile ilgili bilgi temin etmemektedir.

Batarya gerilim seviyesinin düzgün bir şekilde ölçülmesi, sistemin doğru bir şekilde çalışması için gereklidir. Yanlış yapılan ölçümler, bataryanın aşırı şarj olmasına ya da deşarjına yol açarak, bataryaların ömrünü olmasından daha hızlı tamamlamasına neden olmaktadır. En yaygın metod, her batarya için bağımsız analog-dijital çevirici birimleri kullanmaktır. Fakat batarya sayısının yüksek olduğu batarya paketleri için, bu birimlerin kullanımı tasarım açısından zor olmaktadır. ADÇ biriminin sayısı arttıkça bunların devre yapısı üzerinde kapladığı alan artmakta ve mikrodenetleyicinin bu birimleri kontrol etmesi zorlaşmaktadır.

Chen[6] bu zorluğu aşmak ve tek bir ADÇ birimi kullanarak çözüme ulaşmak için düşük gerilimli seviye değiştirici sistemi tasarlamıştır. Bu tasarım ile ADÇ biriminin pozitif girişine ölçümü yapılmak istenen bataryanın pozitif terminali, negatif ucuna da bataryanın negatif terminali üzerindeki gerilim iletilerek gerilim ölçümü sağlanmıştır. Fakat bu sistem, bataryalar ile seviye değiştirici arasında gerilim bölücü yapıları kullanımını zorunlu kılmaktadır.

Bazı bataryaların nominal gerilim değeri düşük gerilimli ADÇ girişi için yüksek kalmakta ve bu yüzden direnç ile oluşturulan gerilim bölücü gibi yapılar kullanılarak uygun seviyeler elde edilmektedir. Bu yöntem, yüksek gerilim değerine sahip bataryaların ölçümünde hatalara yol açmaktadır. Bunun önüne geçmek için Man[7] yüksek gerilimli seviye değiştirici sistemi tasarlayarak batarya gerilim değerinin ölçümüneki hata oranını azaltmıştır.

Batarya paketlerinde bulunan hücrelerden bazıları diğer hücrelere göre daha hızlı yıpranmaktadır. Bunun sonucunda, kapasiteleri azalmakta ve depoladıkları enerjiyi

koruyamamaktadır. Bu hücreler deşarjını tamamladıkları zaman, batarya paketinden fisiksel olarak ayrılamadıkları için paket kullanımı sonlandırılması gerekmektedir. Bu durum gerçekleştiğinde, batarya paketinde kullanılabilecek enerji hala bulunmakta fakat kullanılamamaktadır Bu sorunların önüne geçmek için Ci[8], batarya paketleri içerisinde bulunan batarya konfigürasyonlarını değiştirmeye imkan sağlayan yapıları incelemiştir..

Brandl[9] çalışmasında elektrikli araçlarda kullanılmak üzere birden fazla batarya paketi içeren batarya sistemi oluşturmuştur. Bu sistem içerisinde bulunan her batarya paketi devre dışı bırakılabilmektedir. Bu şekilde, eğer şarjı tükenen bir bataryaya sahip batarya paketi olursa bu paket devre dışı bırakılarak geri kalan batarya paketlerinin kullanımına devam edilmektedir. Kapatılan batarya paketinde enerjisi bulunan bataryaların kullanımı bu sistemde mümkün değildir. Bataryalar tam olarak deşarj edilmeden tekrar şarj edilmektedir.

Kim[10, 11] ve Baronti[12] yaptıkları çalışmalarında batarya paketini oluşturan her bir bataryayı devre dışı bırakabilen bir yapı tasarlamışlardır. Pellegrino[13] ve Manenti[14] çalışmalarında enerjisi tükenen bataryaların güç hattından ayrılması üzerine bir çalışma yapmışlar ve böylece düşük limit değerlerine ulaşan bataryaların zarar görmesini engellemişlerdir. Günlü[15] çalışmasında bataryaların birbiri ile balantılarını seri ve paralel olacak şekilde değiştirilmesini sağlayacak bir çözüm önermiştir. Bu şekilde batarya paketindeki tüm enerji kullanılabilmektedir. Bu şekilde kullanım süresinde ve verimlilikte artış sağlanmaktadır. Fakat bu sistemler modüler değildir ve sabit bir batarya sayısına sahip batarya paketi ile birlikte kullanılması için tasarlanmıştır.

Aktif dengeleme yöntemi, daha hızlı deşarj olan hücrenin diğer hücrelerdeki enerji ile dengelenmesinin de yolunu açmıştır. BYS tasarımına eklenen Doğru Akım-Doğru Akım (DA-DA) çevirici yapıları ile batarya paketindeki enerji enerjisi az olan hücreye yönlendirilerek gerilim seviyelerinin dengelenmesini sağlamaktadır.

Liu[16] dengeleme işlemini gerçekleştirmek için anahtarlamalı tip güç dönüştürücü yapıları kullanmıştır. Flyback topolojisi ile birlikte yükseltici-azaltıcı tip topolojisine sahip devre yapısı içeren çalışma bataryaların dengeleme işlemini gerçekleştirmektedir.

Ran[17] çalışmasında batarya hücresinin enerjisinin direkt olarak zayıf hücreye yönlendirilmesini sağlayacak çalışmalar yapmıştır. Fakat bu yapı her batarya hücresi için flyback topolojisine sahip bir güç dönüştürücü yapısı kullanılarak sağlanmıştır.

Güç dönüştürücü yapısı ile yapılan dengeleme işlemleri için devrede kullanılan elemanlar, devre boyutlarını arttırmakta ve tasarımın karmaşık bir hale gelmesine yol açmaktadır. Aktif dengeleme yöntemini daha basit yöntemlerle sağlamak için literatürde farklı çalışmalar yapılmıştır. Flyback çeviricinin karmaşıklığı yerine, Monteino[18] fazla enerjinin kapasite elemanında depolanarak gerekli hücreye transfer edilmesi sağlayan bir tasarım öne sürmüştür. Bu şekilde çeviricide harcanan fazla enerjinin de boşa gitmesi önlenmiş ve tasarım karmaşıklığı azaltılmıştır En yüksek enerjiye sahip olan hücre ile kapasite şarj edilerek en az enerjiye sahip olan hücreye transfer edilmektedir. Kapasite elemanının enerji deposu olarak kullanılması, transfer edilecek enerjinin her kapasite dolum ve boşaltım sırasında sınırlı olmasına sebep olmaktadır.

Ping[19] çalışmasında batarya paketinin dışında, harici bir batarya kullanmıştır. Bu harici batarya, enerjisi yüksek olan batarya ile şarj edilmekte ve sonrasında harici batarya enerjisi düşük bataryayı şarj etmektedir. Harici batarya ve yapıda kullanılan anahtarlama yapıları sistemin boyutunun fiziksel olarak büyük ve ağır olmasına sebep olmaktadır.

Elektriksel sistemlerin kontrol birimlerinde, mikrodenetleyiciler ve analog entegreler kullanılmaktadır. Bu birimlerin çalışma gerilimleri, batarya paketinin çıkış gerilimlerinden çok çok düşük olmaktadır. Bu nedenle kontrol birimlerinde gerilim regülatörlerinin kullanımı zorunlu olmaktadır.

Rehman[20] kontrol yapıları için gereken enerjiyi sağlamak için bataryalar arasında daha yüksek enerjiye sahip olan bataryayı kullanmıştır. Her batarya için tasarlanan bir güç dönüştürücüsü, düşük gerilim hattına gerekli enerjiyi sağlamak için birlikte çalışmaktadır. Böylece, batarya paketinin kullanım ömrü uzatılabilir ve düşük gerilim hattı bu enerji ile beslendiği için gerilim regülatöründe boşa harcanan enerjinin de önüne geçilmiş olmaktadır. Fakat bu yapı modüler sistemler için uygun değildir.

Bataryaların şarj edilmesi için yapılan donanımsal çalışmaların yanında yazılımsal çözümler de üretilmiştir. Zhang[21] çalışmasında, şarj işlemi sırasında yaşanan enerji kayıplarını azaltmak için şarj akımını kontrol eden bir yazılımsal çözüm önermiştir. Çalışması enerji kayıplarını azaltırken şarj zamanını arttırmaktadır.

Fang[22] şarj işlemi için kullanılabilecek darbe algoritmalarını kıyaslamış ve optimum darbe şarj değişkenlerini kıyaslamıştır. Simülasyonlar ve batarya modelleri üzerinde uygulanan bu çalışma gerçek batarya üzerinde test edilmemiştir.

Kim[23] şarj zamanını kısaltmak için adaptif sabit akım metodunu geliştirmiştir. Bu metod ile, batarya doluluk oranına göre şarj akımı ayarlanmaktadır. Bataryaların aktif olarak kullanıldığı yerler için bu sistem iyi olmakla beraber, hızlı şarj bataryaları normale göre %300 daha hızlı yıpratmaktadır.

Bataryaların kullanım ömürlerinin uzatılması için öncelikle yıpranmaya sebep olan durumların ve bu durumlara karşı alınabilecek önlemlerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla Omariba[24] ve Banguero[25] batarya sağlığı üzerine yapılan çalışmaları incelemiş ve bu alanda yapılan çalışmaların avantaj ve dezavantajlarını karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda kullanılan şarj yönteminin batarya sağlığına direkt etkisi olduğu görülmüştür.

Wang[26] batarya şarj tekniklerini karşılaştırmış ve bunların batarya üzerindeki etkilerini incelemiştir. Şarj teknikleri incelendiğinde sabit akımlı yüksek şarj işlemi sırasında kısa süreli beklemelerin kullanılmasının batarya yıpranmasını azalttığı görülmüştür.

Şarj akımını arttırırken bataryaların yıpranmasınıazaltmak amacı için pals şarj metodu geliştirilmiştir. Amanor-Boadu[27] çalışmasında pals şarjı için kullanılan parametrelerin yıpranma üzerindeki etkilerini araştırmıştır.

Batarya yıpranmalarını azaltmak için, şarj parametrelerinin kontrol altında tutulması ve batarya durumuna göre anlık olarak ayarlanması gerekmektedir. Tephiruk[28] ve Iancu[29] batarya yönetim sistemi kontrolü için bulanık mantık kontrolcüsü kullanmışlardır. Bu kontrolcü karar verme mekanizması için kural tablosu kullanmaktadır. Bu kural tabloları kullanıcı deneyimleri sonucunda oluşturulmakta ve bu sayede olası sorunlara karşı daha stabil çalışmaktadır[30].

Bulanık mantık kontrolcüsü iki temel yapıya sahiptir:Sugeno ve Mamdani[30]. Sakti[31] Mamdani yapısını mikroişlemci üzerinde gerçekleştirmiş ve iki yapı arasındaki performans farkını karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda Mamdani yapısının bu çalışma için kullanılması kararlaştırılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Artan enerji verimliliği ihtiyacı ve uzun kullanım süresi isteği sonucunda bataryalar ile ilgili çalışmalara hız verilmiş, farklı malzemeler kullanılarak yeni bataryalar geliştirilmiştir. Geliştirilen bu bataryaların kontrollü bir şekilde şarj edilmesi, alt ve üst gerilim seviyelerinin gözlenmesi ve tehlikeli durumlarda kullanımın sonlandırılması, belirli sürekli-akım değerleri aşılmaması gerekmektedir [32].

Bataryaların sağlıklı bir şekilde kullanımının sağlanması için BYS'ler ve batarya şarj cihazları geliştirilmektedir. Bu sistemler ve cihazlar tek bir batarya için kullanılabildiği gibi çoklu bataryalardan oluşan batarya paketleri için de kullanılabilmektedir. Temel BYS'lerin içerisinde şarj cihazı bulunmamakta, bataryalar üzerinde sadece gözlem yapma görevi görmektedirler. Gelişmiş BYS'ler, gerekli durumlarda bataryalara müdahale edebilmekte ve değişken batarya sayılarını desteklemektedir. Ticari olarak satılan çoğu BYS'lerde şarj özelliği bulunmamaktadır [33].

Bu çalışma, bataryalar üzerinde acil durumlarda bataryalara tamamen müdahale edebilecek, otonom çalışan, kullanıcıya bataryaların durumu ile ilgili bilgi veren, şarj birimi kendi içerisinde bulunan, taşınabilir ve kolay entegre edilebilir kompakt bir yapı ortaya çıkartılması amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Bu çalışmada belirlenen amaçları gerçekleştirmek için enerji tüketimini azaltmaya yönelik donanımsal çözümler kullanılması, sistemin genişletilebilir olması, çevre birimleri ile haberleşebilmesi ve batarya paketini oluşturan batarya sayısından bağımsız olarak çalışabilen şarj birimine sahip olması hedeflenmiştir. Belirlenen amaçları gerçekleştirebilen bir BYS yapısında bulunması gereken birimler listelenmiştir: Kontrol birimi, batarya açma-kapama birimi, batarya ölçüm birimi, batarya şarj birimi, izole haberleşme birimi ve senkronizasyon sinyali izolasyon devresi.

Amaç ve hedeflerin gerçekleştirilmesi için gerekli birimler bu çalışmada tasarlanmış ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu birimlerin tasarımı bu çalışmanın özgün çalışmalarını oluşturmaktadır. Özgün olarak tasarlanan bu yapılar daha sonra bir sistem oluşturmak üzere bir arada çalışacak şekilde birleştirilmiş ve düşük gerilimli batarya yönetim sistemi (DG-BYS) üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen DG-BYS sistemi üzerinde farklı şarj algoritmaları ve batarya kontrol yöntemleri uygulanmıştır. Bu yöntemler, kontrol birimi üzerinde bulunan mikrodenetleyiciler için hazırlanan özgün gömülü sistem yazılımları ile gerçekleştirilmiştir.

Tasarlanan kontrol birimi üzerinde çalıştırılan gömülü sistem yazılımı ile bataryaların kontrolü ve şarj edilmesi buçalışmanın amaçları ve hedeflerini gerçekleştirmeye yardımcı olmaktadır. Literatüre yenilik katan şarj birimi ile, batarya paketi üzerinde bulunan batarya sayısından bağımsız olarak çalışabilen, 5V ile 9V arasında şarj giriş gerilim değerini destekleyen bir şarj birimi tasarlanmıştır. Literatüre yenilik katan başka bir birim olan batarya açma-kapama birimi, bataryaları güç hattından tamamen izole edebilmektedir.

2
BATARYALAR ve KONTROL YÖNTEMLERİ

Bu bölümde bataryaların gelişim tarihi, bataryalara ait tanımlar, bataryaların karakteristikleri ve kontrol mekanizmaları bataryalar başlığı altında verilecektir.

Bataryalar hakkında bilgiler verildikten sonra batarya paketlerinde kullanılan şarj teknikleri, dengeleme teknikleri anlatılarak bu teknikler kullanılarak oluşturulan batarya yönetim sistem topolojileri batarya yönetim sistemleri başlığı altında verilecektir.

2.1 Bataryalar

1700'lerin sonlarında, iki bilim adamı Luigi Galvani and Alessandro Volta, yaptıkları deneyler sonucunda demir ve bakır palakalar arasında akım geçişi gözlemlemişler ve bunu ispat edebilmek için çalışmalar yapmışlardır. Arasında elekrolit malzeme bulunan demir ve bakır plakalar ile bir yapı meydana getiren Volta, gerçek bir batarya meydana getiren ilk insan olarak bilinmektedir [34]. 1700'lerden günümüze kadar birçok tipte batarya geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam edilmektedir. 1900'lerin sonlarında, Nikel-Metalhibrid (Ni-MH) ve Lityum-İyon (Li-İon) bataryalar, batarya tarihinde önemli atılımlar olarak yer kazanmıştır. Bataryalar günümüz teknolojisi ile, ortalama 1000 defa şarj-deşarj dögüsünü tamamlamak üzere tasarlanmaktadır. Artan enerji ihtiyacı ve ekonomik, uzun ömürlü batarya ihtiyacından dolayı, bataryalar üzerinde yapılan çalışmalar devam etmekte ve yeni batarya tipleri geliştirilmektedir [32, 33].

Bataryalar temel iki gruba ayrılmaktadır: Birincil bataryalar, ikincil bataryalar. Birincil ve ikincil bataryaları birbirinden ayıran temel fark, bazı bataryaların sadece kullanılabilir olmasıdır. Bu bataryalar tekrar şarj edilemezler ve birincil bataryalar olarak adlandırılırlar. Diğer bataryalar, kullanıldıktan sonra tekrar şarj edilebilirler, bunlara ikincil bataryalar denmektedir. Bataryaların tipleri, yapılarını oluşturan kimyasal malzemeye göre belirlenmektedir [34]. Birincil bataryalar ikincil bataryalara göre bazı avantajlara sahiplerdir. Kullan-at oldukları için herhangi bir denetleme

mekanizmasına ihtiyaç duymamaktadırlar. Uzun raf ömrüne sahiptirler ve ucuzdur. Bu avantajlarına rağmen depolanabilen enerji sınırlı ve düşüktür. İkincil bataryalar birincil bataryaların sahip olduğu avantajlara sahip olmamalarına rağmen, gereken enerji yoğunluğunu ve tekrar kullanım ihtiyacını karşılamalarından dolayı, daha yoğun talep görmektedirler [35].

Bataryaların temel çalışma prensipleri aynıdır; kimyasal enerji ile elektrik enerjisi sağlanması. Her bir batarya, hangi tip olursa olsun içerisinde elektrolit bir malzeme ve iki elektrod bulundurmaktadır. Bu elektrodlar anot ve katod olarak adlandırılır. Elektrolit malzeme su içerisinde çözülen asit, tuz gibi bir malzeme olabileceği gibi kuru tip ya da jel bir malzeme de olabilmektedir. Bataryaların deşarjı sırasında, elektronlar negatif elektroddan pozitif elektroda doğru akmaktadırlar. Bataryaların şarjı sırasında, bu durum tam tersi olmaktadır. Şarj sırasında, elektrik enerjisi kimyasal enerjiye dönüştürülerek batarya içinde depolanır [35].

Batarya paketleri, batarya hücrelerinin birbirine bağlanması ile oluşturulmaktadır. Farklı amaçlar için farklı bağlantı şemaları kullanılmaktadır. Batarya hücrelerinin seri olarak birbirine bağlanması, toplam gerilim seviyesini arttırmaktadır. Hücrelerin birbirine paralel olarak bağlanması toplam kapasiteyi arttırmaktadır. Yüksek gerilim ve yüksek kapasiteye sahip batarya paketleri için, seri ve paralel bağlantı birlikte kullanılmaktadır [36].

Bataryaların kullanımı yaygınlaştıkça, bataryaların daha ekonomik, daha verimli, daha hafif ve daha güvenli olması istenmektedir. Elektronik aletlerde, özellikle elektrikli araçlarda bataryalar maliyetin büyük çoğunluğunu oluşturmaktadırlar.

Bataryalar iki büyük dezaavantaja sahiptirler: Kullanım ömrü ve ağırlık. Bataryaların kullanım ömürleri 10 senenin altındadır ve bu en büyük dezavantajıdır. Aynı ağırlık ve hacimdeki fosil yakıtların sağladığı enerjiye kıyasla bataryaların sağladığı enerjiye göre ağırlıkları en büyük 2. dezavantajdır. Elektrikli araçlar, 100 km lik bir menzil için 400 kg ağırlığında kuru tip bataryaya, 200 kg ağırlığında NiMH tipi bataryaya ya da 120 kg ağırlığında Li-İon tipi bataryaya ihtiyaç duymaktadır. Bunlara rağmen aynı araç aynı yolu 10 litre fosil yakıt ile gidebilmektedir. Bu değerler dikkate alındığında, ağırlık başına alınan enerji, hala fosil yakıtların gerisindedir. Bataryaların ağırlık dezavantıjının önüne geçilebilmesi için, enerji yoğunluğunun 100 Wh/kg üstüne çıkarılması gerekmektedir [37].

Bataryaların çalışmasını etkileyen önemli bir faktör sıcaklıktır. Bataryaların kimyasal yapısından dolayı, sıcaklıktan kolayca etkilenebilmektedirler. Artan sıcaklık, bataryanın iç direncinin düşmesine sebep olmakta, düşük iç direnç ise bekleme enerji kaybını arttırmaktadır. Ayrıca bataryaya zarar vererek kullanım ömrünü

kısaltmakta, batarya kapasitesinde düşüşlere sebep olmaktadır. Uygun olmayan aşırı deşarj ve şarj akımları bataryaların ısınmasına yol açmakta, batarya gözlem altında tutulmaz ise batarya hücreleri zarar görmekte hatta patlamalara yol açmaktadır. Bazı sistemler soğutucu ve fan kullanımı ile batarya için optimum sıcaklık değerlerini sağlamaktadır[35].

2.1.1 Bataryaya Ait Tanımlar

Bataryaların özellikleri literatür ve teknik dökümanlarda, bazı tanımlamalar ile açıklanmaktadır. Bu tanımlardan en sık kullanılanları aşağıda verilmiştir [35, 38].

Batarya Hücresi: İki adet elektrod ve aralarında bulunan elektrolit maddenin bir araya gelerek oluşturduğu temel batarya ünitesidir.

Batarya Paketi: İki veya daha fazla batarya hücresinin birbirlerine seri, paralel ya da seri-paralel olarak bağlanması ile oluşturulan sistemdir. Seri ya da paralel bağlanamsına göre kodlanmaktadır. _S_P şeklinde yapılan kodlamada, _S seri bağlı batarya sayısını, _P seri bağlı batarya yapısından paralel bağlı kaç adet olduğunu belirtmektedir. Örneğin 2S3P kodlamasında 2S seri bağlı batarya sayısının 2 adet olduğunu, 3P bu seri bağlı batarya grubundan 3 adet paralel olarak bağlandığını göstermektedir.

Enerji Yoğunluğu: Birim batarya hacminin sahip olduğu enerjidir. Birimi: Watt-Saat / Litre (Wh/l).

Güç Yoğunluğu: Birim batarya hacmine düşen gücü belirtir. Birimi: Watt / Litre (W/l)

Kapasite: Bataryanın taşıyabileceği maksimum şarj değerini gösterir. Birimi Amper-Saat (Ah)'dir. Batarya kullanım süresi, kapasitenin bataryadan çekilen ortalama akıma bölünmesi ile bulunabilir.

Elektrod: Bataryaları oluşturan temel birimlerden biridir. Her batarya hücresi iki adet elektroda sahiptir. Batarya hücresinin gerilimi bu elektrodlar arasındaki potansiyel fark ile belirlenir.

Anod: Oksidasyon tepkimesine giren elektrod, anod olarak adlandırılır. Devreye elektron sağlamakla görevlidir. Negatif elektrod olarak adlandırılır.

Katod: İndirgeme tepkimesine giren elektrod, katod olarak adlandırılır. Devre üzerinden gelen elektrodlar katodda toplanır. Pozitif elektrod olarak adlandırılır.

Elektrolit: İyonik iletkenliği sağlayan özel yapıdır.

Ayırıcı: Elektriksel olarak iletkenliği bulunmayan malzeme ya da boşluktan oluşmaktadır. Elektrodlar arasında kısa devre olmasını engellemektedir.

C değeri: Batarya hücresinin şarj ve deşarj sırasında içinden geçebilecek akım değerini bulmak için kullanılan değerdir. Maksimum akım değeri, bataryanın sahip olduğu kapasite değerinin C değeri ile çarpılması sonucu bulunmaktadır.

Döngü Ömrü: Bataryanın kaç defa şarj deşarj edilebileceğini belirten değerdir. Bu değer, genellikle bataryanın gerçek kapasite değerinin üstünde yazan kapasite değerinin yüzde 80'ine inene kadar geçen süreyi belirtir.

Kesim Gerilimi: Bataryalaraın sağlıklı bir şekilde çalışmasına devam edebilmesi için, kullanımı sırasında gerilim seviyesinin düşebileceği minimum alt değeri belirtmektedir.

Bekleme Enerji Kaybı: Pilin depolama esnasında kaybettiği enerji değerini belirtir. Genelde yüzde olarak belirtilir.

2.1.2 Batarya Karakteristikleri

Batarya tipleri arasında bazı bataryalar ticari olarak yaygın kullanıma sahiptir. Bu bataryalardan başlıcaları NiCd, NiMH, LiPo, kuru akü, şarj edilebilir alkalin batarya ve Li-İon bataryalardır [39, 40]. Bu bataryaara ait özellikler Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 Batarya tiplerine göre özellikleri [39, 40]

Batarya tipleri	**Li-Ion**	**Li-Po**	**NiMH**	**NiCd**	**Alkalin pil**	**Kuru akü**
Çalışma gerilimi (V)	3.6	3.6	1.2	1.2	1.5	12
Enerji yoğunluğu (Wh/l)	200-280	200-250	160-310	90-150	150	70-90
Enerji/Ağırlık (Wh/kg)	90-115	100-110	50-90	30-60	20-85	20-40
Bekleme deşarjı (%/Ay)	5-10	1	20-30	10-20	2	4-8
Şarj döngüsü	500-1000	500-1000	300-600	300-700	15-25	200-500
Çalışma sıcaklık aralığı (°C)	-20 - 50	-20 - 50	-20 - 50	-20 - 50	-30 - 50	-30 - 60

NiCd bataryalar, düşük enerji yoğunluklarına rağmen ucuz olmaları ve sağlamlıkları açısından günümüzde hala sıkça kullanılmaktadırlar. Yüksek akım gereken elektrik sistemlerinde kullanılabilirler ve sağlamlıklarından dolayı hızlı şarj edilebilmektedirler. Hücre gerilimi 1.2 V'dur. Anlık olarak yüksek enerji sağlamaları ve hızlı şarj imkanı, elektrikli el aletleri gibi yüksek güç isteyen elektronik aletlerde kullanımını yaygınlaştırmıştır [39, 40].

NiCd bataryaların düşük enerji yoğunluğuna çözüm bulabilmek için yapılan araştırmalar sonucunda, 1900'lerin sonlarında Sanyo Elektrik firması tarafından NiMH tipi bataryalar üretilmiştir. NiCd bataryalar gibi 1.2 V gerilim seviyesine sahiptir. Geliştirilen enerji yoğunluğu değeri ile, uzun pil ömrü gereken elektronik aletlerde kullanılmaya başlanmıştır [39, 40].

Kuru tip bataryalar, günümüzde araba aküsü olarak kullanılmaktadır. Bakım gerektirmezler. Yüksek C değerine sahip olmaları ve bekleme enerji kaybı değerinin düşük olması avantajlarındandır. Bunlara rağmen, düşük enerji yoğunluğuna sahip olmaları ve ağırlığının ve kapladığı hacmin yüksek olması, en büyük dezavantajlarıdır. Ayrıca, düzenli olarak şarj edilmeyen kuru tip bataryaların döngü ömrü azalmaktadır [39, 40].

Yeniden şarj edilebilir alkalin bataryalar, kullanıcıların en kolay şekilde satın alabileceği ve zahmetsizce kullanabileceği batarya tipidir. Kolay kullanımlarına rağmen, diğer batarya tiplerine göre düşük enerji yoğunluğuna ve düşük gerilim seviyesine sahip olması, bunların yanında döngü ömrünün az olması, günümüz teknolojisinde yerini başka batarya tiplerine bırakmasına sebep olmuştur [39, 40].

Li-İon tipi bataryalar Nikel bazı bataryalardan kimyasal olarak ayrı bir yapıya sahiptir. Diğer batarya tiplerine göre en büyük avantajı, sağladığı yüksek gerilim (3.6 V) seviyesidir. Bunun yanında, yüksek enerji yoğunluğuna sahip olması ve nikel bazlı bataryalra göre hafif olması, günümüzde taşınabilir ve ufak boyutlu ciahzlarda kullanılmasının artmasını sağlamıştır [39, 40].

LiPo tipi bataryalar, Liİon bataryalarda kullanılan ayrıcı yapının polimer olarak değiştirilmesi ile oluşturulmuştur. LiPo batarya teknolojisi ile hızlı üretim sağlanabilmekte ve üretilen bataryaların ince olmasına olanak sağlamaktadır. Çeşitli boyutlarda üretim yapılabilmesi mümkündür [39, 40].

Avantaj ve dezavantajları göz önüne alındığında, Li-İon bataryalar diğer bataryalara göre üstünlük göstermektedir. Diğer batarya tiplerine göre, en hafif batarya tipi olmakla birlikte, yüksek gerilim seviyesi sağlaması ve yüksek enerji kapsitesi sunması, Li-İon bataryanın kullanımını yaygınlaştırmıştır. Avantajlarının yanında,

Li-İon bataryaların belirli limitler içinde kullanılması gerekmektedir. Limitler dışına çıkıldığında, batarya dengesiz bir kimyasal yapıya geçmektedir. Limitler içinde kullanıldığında, kullanım ömrü boyunca bakım gerektirmeyen Li-İon bataryaların şarj sırasında hafıza etkisi de bulunmamaktadır. Standart gerilim seviyeleri 3.7 V, tam dolu gerilim seviyeleri 4.2 V olan Li-Ion bataryaların, kesim gerilimi 2.75 V 'tur. Aşırı şarj edilmesi, bataryanın aşırı ısınmasına ve patlamasına sebep olabilmektedir. Aşırı ısınma, bataryanın bozulmasına neden olabilmektedir. Kesim geriliminin altına inilmesi, bataryanın kullanım süresini ve kapasitesini azaltmaktadır [39, 40].

2.1.3 Batarya Şarj Teknikleri

Geliştirilen şarj tekniklerinden bazıları Li-İon bataryalara zarar vermektedir. Şarj etmek için kullanılabilecek bazı şarj yöntemleri sıralanırsa, sabit gerilim, sabit akım, darbe methodu ve karma yöntemdir [41, 42].

Sabit şarj metodunda, batarya şarj edilene kadar tam dolu gerilim seviyesi ile şarj edilir. Li-İon bataryalarda güvenlik için bu yöntem akım sınırlaması ile birlikte kullanılmalıdır. Bataryaların deşarj sırasında olduğu gibi şarj sırasında da C değeri vardır ve bu değer aşılmamalıdır.

Sabit akım metodunda, batarya tam dolu gerilim seviyesine ulaşana kadar sabit bir akım değeri ile şarj edilir. Bu yöntem bataryaların aşırı ısınmasına yol açabilmektedir. Bataryaların sağlıklı bir şekilde şarj edilmesi için, akım sabit tutulurken gerilim değerlerinin batarya sınırlarını aşmamasına dikkat edilmelidir.

Darbe metodunda, şarj işlemine kısa süreli aralar verilmektedir. Bu yöntem sabit akım ile şarjı daha kontrolü bir şekilde yapılmasını sağlamaktadır. Şarj aralarında, pilin kimyasal dengesi stabil hale gelmekte ve gerilim ölçümleri bu aralarda yapılarak daha doğru bir ölçüm gerçekleştirilebilmektedir.

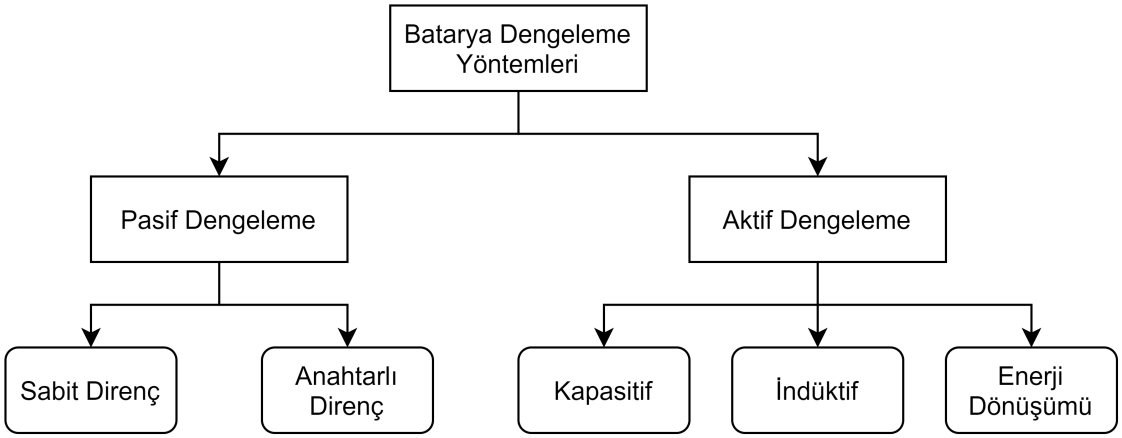
Karma şarj yönteminde, batarya sabit gerilim yöntemi ile şarj edilmeye başlanır. Daha sonra sabit akım ile tam dolum yapılması sağlanır.

2.1.4 Batarya Dengeleme Yöntemleri

Elektriksel sistemlerin ihtiyacı olan gerilim seviyesinin sağlanabilmesi için, batarya hücreleri seri bağlanarak batarya paketleri oluşturulur. Paketi oluşturan batarya hücreleri arasında, kullanıma bağlı yıpranma, iç direnç farklılıkları gibi sebeplerden dolayı farklılıklar olabilir. Bu farklar, kullanım sırasında ciddi hasarlara yol açabilmektedir [38].

Batarya hücreleri arasında oluşan bu farklar, batarya paketinin tam olarak deşarj ve şarj olmasını engellemektedir. En zayıf hücre, daha düşük kapasiteye sahip olduğundan dolayı tam şarja daha erken sürede ulaşacak ve kullanım sırasında da daha çabuk bitecektir. Bu da diğer hücrelerin tam olarak şarj olmasını ve deşarj olmasını engelleyecektir[43, 44].

Bu sorunların önüne geçmek için, BYS'lere dengeleme yöntemleri eklenmiştir. Bu yöntemler 2 ana başlığa ayrılmaktadır: Pasif ve aktif dengeleme. Batarya dengeleme yöntemleri ve alt başlıkları Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



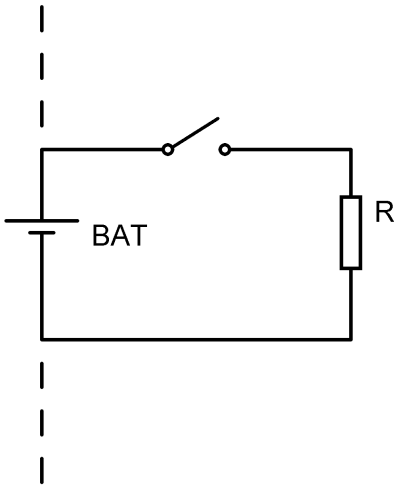
Şekil 2.1 Batarya dengeleme teknikleri

2.1.4.1 Pasif Dengeleme

Pasif dengeleme yönteminde, bataryaya paralel bağlı bir direnç kullanılmaktadır. Dirençlerin kullanım şekline göre sabit ya da anahtarlamalı direnç olarak sınıflandırılmaktadır [45].

Sabit direnç, batarya tam dolu olduğunda devreye girerek şarj akımının pilin üzerinden geçmesini engeller ve bataryanın aşırı şarj edilmesini engeller (Şekil 2.2). Direnç değeri, maksimum şarj akımını karşılayabilecek şekilde seçilmedir. Gerekli değerin üstünde seçilmesi, bataryanın aşırı şarj edilmesine sebep olacaktır. Direnç değeri gereken değerden çok küçük seçilmesi ise direncin aşırı ısınmasına ve bataryanın deşarj olmasına sebep olacaktır. Batarya maksimum şarj seviyesine ulaştığında direnç devreye girmekte ve belirli değerin altına düşerse devreden çıkmaktadır.

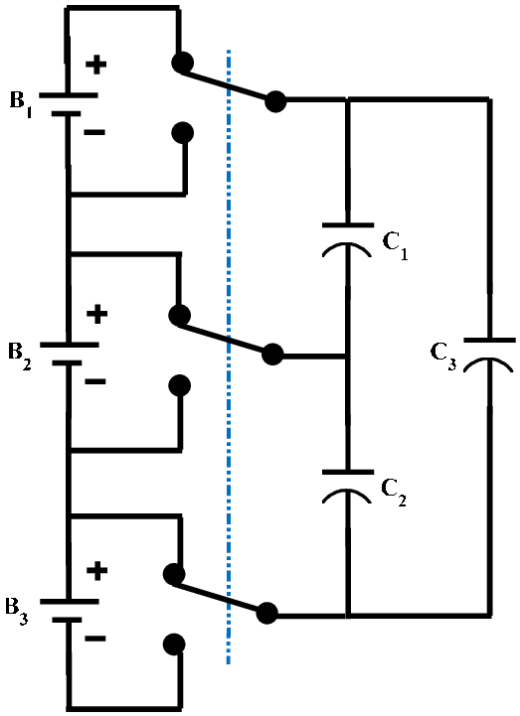
Anahtarlamalı direnç, belirli bir frekansta anahtarlama yapılarak üzerinden geçen akım değeri ayarlanan yapılardır. Direnç üzerinde harcanan enerji anahtarlama yapılarak ayarlanır bataryanın aşırı şarj edilmesi veya şarj sırasında deşarj edilmesi engellenir.



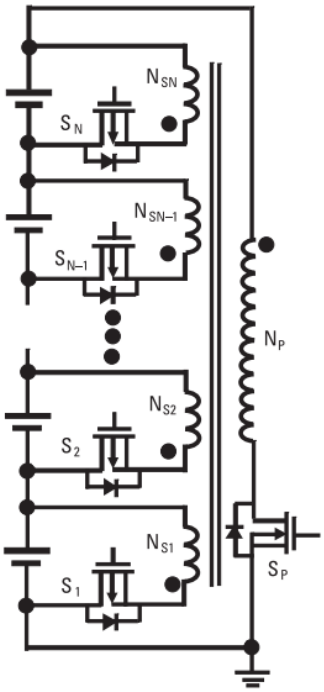
Şekil 2.2 Direnç ile dengeleme yöntemi

2.1.4.2 Aktif Dengeleme

Dengeleme işlemi için direnç kullanılması, enerji kaybına sebep olmaktadır. Bunun yanında direnç üzerinde harcanan enerji ısıya dönüşmekte ve bu ısının tahliye edilmesi için soğutucu yapıları kullanılması gerekebilmektedir. Harcanan enerjinin geri kazandırılması ve ek olarak ısı sorununun önüne geçilmesi için aktif dengeleme yöntemleri geliştirilmiştir [46–49]. Kapasitif anahtarlama yöntemi kullanılarak tasarlanan örnek yapı Şekil 2.3'te, indüktif dengeleme yöntemi kullanılarak tasarlanan örnek yapı Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Kapasitif anahtarlama yöntemi [46]



Şekil 2.4 İndüktif dengeleme yöntemi [47]

Kapasitif anahtarlama yöntemi, bataryalara paralel bağlı kapasitelerden ve bunların bataryalar ile bağlantısını sağlayan anahtarlardan oluşmaktadır. Bu yöntem ile gerilim seviyesi yüksek olan batarya ile kapasite şarj edilmektedir. Şarj edilen kapasitedeki enerji, daha düşük gerilim seviyesine sahip olan bataryaya aktarılır. Bu sayede bataryalar arasında hem şarj, hem deşarj işlemi gerçekleştirilir. Bu yöntem için şarj yapısına ek oalrak kapasiteler ve kapasiteleri kontrol eden bir yapının eklenmesi gerekmektedir. Kapasitelerin kontrolü direnç ile dengeleme yöntemine göre karmaşıktır. Yüksek hızlı dengeleme işlemleri için uygun değildir.

İndüktif batarya dengeleme yöntemi, kuplajlı bobin yapısı ile oluşturulan bir yöntemdir. Bu şekilde, her bir batarya için ayrı bir sargı kullanılmakta ve bataryalar birbirinden izole bir yapıda şarj edilebilmektedir. Pasif ve kapasitif anahtarlama yöntemlerine karşı indüktif dengeleme yöntemi, uygulamak için daha karmaşık ve kontrolü daha zor bir yapıdır. İçerdiği indüktör elemanları yüzünden devre yapısı büyümekte ve maliyet artmaktadır.

Enerji dönüşümü, anahtarlamalı güç dönüştürücü yapıları ile sağlanmaktadır. Genel olarak tüm batarya paketinden alınan enerji düşük gerilim değerine sahip olan bataryaya yönlendirilmektedir. Güç dönüştürücü yapıları ile istenilen şarj akım - gerilim değerleri elde edilebilmektedir. Bu yapı hızlı şarj işlemi istenen sistemler için daha uygundur.

2.2 Batarya Yönetim Sistemi

Li-İon bataryaların uzun ömürlü olması ve sağlıklı bir şekilde kullanılabilmesi için, şarj ve deşarj gerilimlerinin limit değerler içinde tutulması gerekmektedir. Bu işlem kullanıcı tarafından da yapılabilir fakat bu, kullanıcıyı sürekli meşgul eden bir eylem olacaktır. Ayrıca, birden fazla batarya hücresi içeren batarya paketlerinin kontrolü, kontrolcü bir sistem olmadan zor olacaktır. Batarya hücrelerinin şarj edilmesi, deşarj edilmesi ve gerekli bilgilerin tutulması, bir sistem tarafından yapılmalıdır. Bu tarz sistemler "Batarya Yönetim Sistemi" (BYS) olarak adlandırılmaktadır. [38].

BYS'lerin kolay bir şekilde uygulanabilmesi, batarya hücrelerinin gerilim seviyesini denetlemesi, gerektiğinde deşarj ve şarjı kesmesi beklenmektedir. İlk BYS'ler batarya durumlarını gözlemlemek için tasarlanmıştır. Bunlar bataryaya müdahale edememekte, dengeleme işlemi yapamamaktadır. Bağlı oldukları diğer sistemlerle haberleşme sağlayamamaktadır. Günümüzde bu sistemler diğer sistemlerle birlikte çalışmaya başlamış, bataryaların dengeleme işlemini yapabilen, batarya bilgilerini anlık olarak kaydeden, çevre birimleri ile haberleşebilen akıllı sistemler haline gelmişlerdir.

BYS'lerden temel olarak aşağıdaki özelliklere sahip olması beklenmektedir:

- Batarya hücrelerinin ölçümü
- Batarya dengeleme işleminin yapılması
- Şarj ve deşarjı otomatik kesebilmesi
- Bilgilerin kullanıcıya sunulması
- Çevre birimleri ile haberleşme sağlayabilmesi.

BYS'lerin gerilim ölçümlerini düzgün yapması gerekmektedir. Bu bataryaların düzgün bir şekilde kontrol edilmesini ve sistemin doğru kararlar verebilmesini sağlamaktadır. Gerilim ölçümü için hazır entegreler kullanılabileceği gibi, mikrodenetleyici ile de bu ölçümler yapılabilmektedir.

2.2.1 Batarya Hücrelerinin Ölçümü

Gerilim ölçümü, şarj durumunun belirlenmesi için kullanılabilmektedir. Bataryanın şarj ve deşarj grafiği üstünden, batarya gerilimine denk gelen şarj yüzdesine ait bir tablo çıkartılır ve buna göre şarj durumu kullanıcıya sunulur. Bu yöntem, değişken yüklerde hatalı ölçüme sebep olabilmektedir çünkü bataryanın açık ve kapalı gerilim değerleri yüke göre değişiklik göstermektedir.

Şarj durumunun belirlenmesi için iki yöntem sıklıkla kullanılmaktadır: Coulı-umb ölçüm yöntemi ve voltaj ölçüm yöntemi.

Coulumb ölçüm yöntemi voltaj ölçüm yöntemine göre daha stabil sonuç vermektedir. Bu yöntemde, bataryaya giren ve bataryadan çıkan akım takip edilir. Bu yöntemin uygulanması, gerilim ölçüm yöntemine göre daha karmaşık ve ek devreler gerektirebilmektedir. Bu sebeple daha maliyetli bir yöntemdir. Ayrıca sistemin stabil çalışması için, akım ölçümünün hızlı çalışabilmesi, ani değişimlerin doğru şekilde ölçülebilmesi gerekmektedir[50].

Bataryaya bağlı bir yük olduğunda bataryanın açık devre gerilim değeri ile arasında gerilim farkı oluşmaktadır. Batarya ölçümünün daha basit bir şekilde sağlanabilmesi için gerilim bölücü yapılar ile analog - dijital çeviriciler kullanılma fakat çıkış yükü bağlı olan batarya ölçümünde hatalara sebep olmaktadır[6].

Bu hataların giderilmesi için iki çözüm sıklıkla kullanılmaktadır: Batarya açık devre gerilimi ölçümü, batarya iç direnci ölçümü. Birinci yöntemde batarya ölçümü yapılırken anlık olarak batarya çıkış yükünden ayrılmakta ve bu şekilde bataryanın açık devre gerilimi ölçülmektedir. Bu yöntem ölçüm hatasını gidermekte fakat çıkış geriliminde dengesizliğe yol açmaktadır. Bu çözüm dışında kullanılan 2. çözümde, çıkış yükünün çektiği akım ve çıkış gerilimi takip edilerek batarya iç direnci hesaplanır ve bataryanın açık devre gerilim değeri yazılımsal olarak elde edilir.

2.2.2 Şarj ve Deşarj İşlemi

BYS'lerin temel görevlerinden birisi de, bataryaların aşırı şarj ve deşarjının engellenmesini sağlamaktır. Çoğu BYS dahili bir şarj modülüne sahip değildir. BYS'ler kullanıcıya şarj deşarj sırasında istenmeyen bir durumda sesli, görsel bir ikaz sunarak kullanıcının gerekli eylemi gerçekleştirmesini sağlarlar. Gelişmiş BYS'ler, uyarı vermek dışında otomatik olarak şarj ve deşarj işlemini durdurabilmekte ve şarj modülünü kendi içinde barındırabilmektedir.

2.2.3 Batarya Dengeleme

Batarya hücrelerinin dengelenmesinin önemi Bölüm 2.1.4'de anlatılmıştır. Çoğu BYS dengeleme işlemini yapamamakta, dengeleme işlemi sadece şarj edilirken şarj cihazı tarafından yapılmaktadır. Gelişmiş BYS ler aktif dengeleme yöntemlerini kullanarak deşarj sırasında da batarya paketinin uzun kullanıma sahip olmasını sağlamaktadırlar[8].

2.2.4 Data Kaydı

BYS'lerin kullanıcıya batarya ile ilgili bilgileri sunabilmesi ve geriye dönük bilgilerin tutulabilmesi için, kullanım bilgilerini kayıt edebilmesi gerekmektedir. Ölçüm sırasında alınan kullanım bilgileri, harici bir belleğe ya da uzak bir birime yollanarak kaydedilir. Kaydedilen bilgiler ile bataryaların ne kadar süredir kullanıldığı, batarya sağlık durumu gibi bilgileri hesaplanabilmektedir.

Data kaydı sistem üzerinde bulunan bir hafıza kartına ya da EEPROM entegresine yapılabilir. Daha sonra bu veriler sistem üzerinden kablosuz olarak ya da kablolu olarak alınabilmektedir.

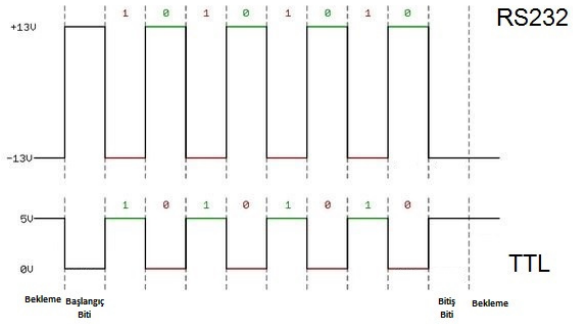
2.2.5 Haberleşme

BYS'lerin kullanıldıkları sistemler ile iletişim kurabilmesi için, haberleşme birimlerine sahip olması gerekmektedir. Bu sayede, batarya durumlarının kullanıcı ile paylaşılması, data kaydının harici bir birimde yapılması, sistem parametrelerinin diğer birimler ile paylaşılması sağlanmaktadır. BYS'nin kullanıldığı sisteme göre, haberleşme protokolü değişebilmektedir. TTL, RS232, RS485, SPI, CANBUS protokolleri günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.2.5.1 TTL-RS232

TTL ve RS232 haberleşme protokolleri, bilgisayarlar ile birlikte ortaya çıkan ve günümüzde standart hale gelmiş dijital haberleşme protokolleridir. TTL haberleşme için gönderim, alım ve referans hatları yeterliyken, RS232 protokolünde ek sinyaller bulunmaktadır (data hazır, iletim hattı müsait vb.). RS232 iletim hattı, haberleşme sırasında gürültüleri engellemek için pozitif sinyal genliği olarak +15 V, negatif sinyal genliği olarak -15 V gerilim değerinde çalışmaktadır [21].

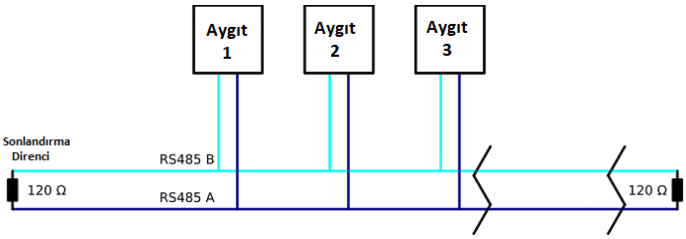
TTL ve RS232 haberleşme protokolü başlangıç ve bitiş bitlerine sahiptir. Asenkron olarak birimler arasında haberleşme sağlayabilen bu sistem, gelen ve giden verinin senkronizasyonunun sağlanması için verinin başlangıç ve bitişinde bu başlangıç ve bitiş bitlerini kullanmaktadır. TTL ve RS232 haberleşme protokollerine ait veri iletimi Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5 TTL-RS232 haberleşme protokolü[21]

2.2.5.2 RS485

RS485, RS232'ye göre daha uzak mesafe iletişimi ve dha hızlı veri transferi ihtiyacını karşılamak üzere tasarlanmıştır.İletişim mesafesi 1 km'ye çıkabilmektedir. Aynı iletim hattında çoklu cihaz haberleşmesini desteklemektedir [21]. RS485 haberleşme protokolüne ait sahip cihazların örnek bağlantısı Şekil 2.6'da gösterilmiştir.

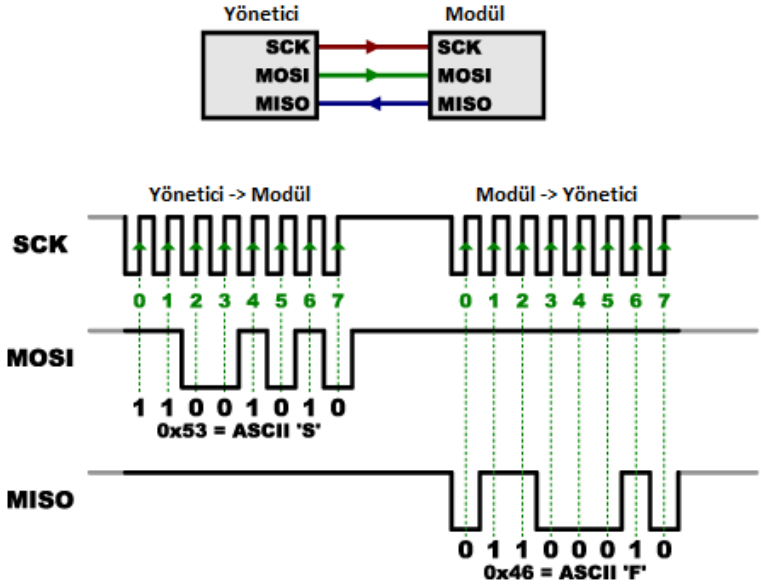


Şekil 2.6 RS485 haberleşme protokolü[21]

RS485 iletim hattı 2 adet kablodan oluşmaktadır. Bu kabloların iki ucu 120 Ω dirençler ile birleştirilmiştir. İletim hattında kablolardan biri sinyalin kendisini taşırken diğer kablo bu sinyalin terslenmiş halini taşımaktadır. Alıcı tarafında bu sinyallerin farkını alan bir yapı bulunmaktadır. Bu şekilde kablolar üzerine etki eden gürültü fark alıcı yapı tarafından orjinal sinyalden çıkarılmaktadır. Sistem bu sayede hatalara karşı dayanıklı ve uzak mesafe iletişimde kullanılmaya daha uygun hale gelmiştir [21].

2.2.5.3 SPI

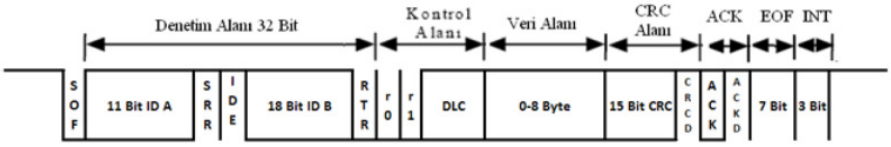
SPI, kısa mesafede hızlı veri transferi için uygun bir haberleşme protokolüdür. Aynı haberleşme hattında çoklu cihaz haberleşmesi desteklenmektedir. Data hatlarına ek olarak her modül için seçim sinyali gerekmektedir. Veri gönderimi sırasında veri alımı da gerçekleşmektedir ve bu sayede yüksek hızlarda veri transferi sağlanmaktadır. SPI haberleşme protokolüne sahip bir cihazın bağlantı şeması ve örnek veri iletimi Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 SPI haberleşme protokolü[21]

2.2.5.4 CANBUS

"Controller Area Network" (CANBUS) protokolü, otomotiv sanayisinde kullanılmak için tasarlanan, araç içindeki kablo karmaşıklığını azaltmak için kullanılan bir haberleşme protokolüdür. Sabit bir direnç ile sonlandırılan bir iletim hattını kullanan bu protokol ile, hatta bağlanan her sistem diğer sistemler ile iletişime geçebilmekte, yönetici bir sistemin ihtiyacı bulunmamaktadır. CANBUS haberleşme protokolüne ait mesaj örneği Şekil 2.8'de verilmiştir.



Şekil 2.8 CANBUS haberleşme protokolü[21]

2.2.6 Güvenlik ve Güvenilirlik

Bataryaların kullanım limitleri içinde işlevine devam edebilmesi, kullanıcıların istenmeyen hasarlara yol açmaması ve sistemin uzun ömürlü olabilmesi için BYS'ler güvenlik özelliklerine sahip olmalıdırlar.

Bataryaların aşırı deşarj edilmesi durumunda, bataryalar kullanım ömrünü hızlıca tamamlamakta ve istenilen performans alınamamaktadır. BYS'ler, sürekli olarak batarya gerilim seviyesini tekip ederek bataryaların düşük gerilim sınırına gelmesini engellemelidir. Aynı şekilde, bataryaların aşırı şarj edilmesi de kullanım ömrünü kısaltacağı gibi, ciddi risklere sebep olmaktadır. Aşırı şarj sonucu patlama ve yangın tehlikesi bulunmaktadır. Kullanım sırasında bataryaların ısınması da batarya ömrünü etkileyen bir diğer faktördür. Gerekli ise BYS'lerin soğutma mekanizmalarına sahip olması, güvenlik açısından önemlidir.

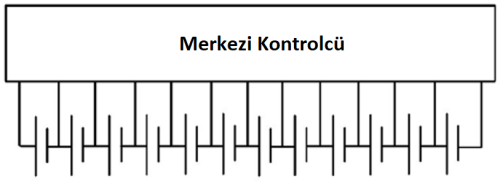
BYS'ler cep telefonlarından elektrikli araçlara kadar, hayatımızda kritik yere sahip birçok alanda kullanılmaktadır. Bu sebeple, sistemlerin güvenilir olması beklenmektedir. Arıza durumunda kullanıcının zarar görmeden bu durumdan haberdar edilmesi ve mümkünse, sistemin işleyişine devam edebilmesini sağlaması gerekmektedir. Batarya paketi içinde gerçekleşen fiziksel bir arıza BYS'ler tarafından engellenemeyebilir. Bu gibi durumlar için, BYS dışında ek güvenlik önlemleri alınması gerekmektedir. Örneğin, batarya paketinin güvenli bir bölme içinde olması ya da korumaya sahip olması, kısa devre ve aşırı akım durumlarına karşı sigorta kullanımı gibi yöntemler, BYS'ler ile birlikte kullanılabilir [41].

2.3 BYS Topolojileri

Batarya yönetim sistemi topolojileri, kullanım yerlerine göre avantaj ve dezavantajlara sahiptir. 3 gruba ayrılmaktadır: Merkezi topoloji, modüler topoloji, dağınık topoloji. Her bir topolojinin kendine göre avantajı ve dezavantajı bulunmaktadır. Tasarlanan sistemlerin kullanım alanına göre bu avantajlar ön plana çıkmaktadır.

2.3.1 Merkezi Topoloji

Merkezi topoloji blok yapısı Şekil 2.9'da verilmiştir. Bu topolojide bütün bataryalar doğrudan kontrolcüye bağlıdır. Bataryaların gözlemi merkezi kontrolcü tarafından yapılmaktadır.

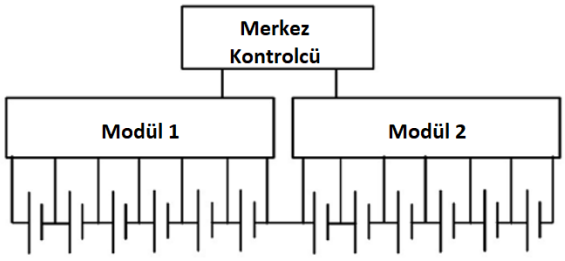


Şekil 2.9 Merkezi topoloji - Blok diyagramı

Eğer kurulum bir daha değiştirilmeyecek ise, merkezi topolojinin kullanılması ek olarak kontrolcü birimlerine ve yardımcı birimlerine ihtiyaç olmadığından sabit sistemler için daha uygundur. Bağlanan batarya hücre sayısının sabit olması ve değiştirilememesi, bu topolojinin dezavantajıdır. Bataryaların ölçüm ve kontrol işlemleri için tüm donanım yapısı sistem tasarımı esnasında belirlenmeli ve buna göre tasarlanmalıdır.

2.3.2 Modüler Topoloji

Modüler topoloji, belirlenen bir gerilim seviyesinin katları değerinde gerilim değerleri ile çalışan sistemler için uygundur. Bu yapılarda bir adet merkezi kontrolcü bulunmaktadır. Bu merkezi kontrolcünün denetiminde de modüler kontrolcüler bulunmaktadır. Modüler topolojinin blok yapısı Şekil 2.10'da gösterilmiştir.

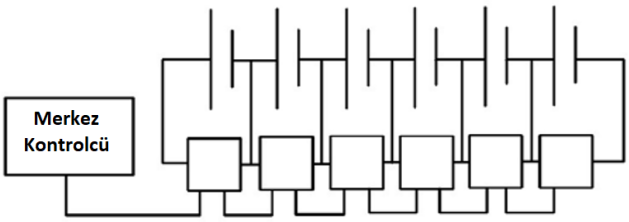


Şekil 2.10 Modüler topoloji - Blok diyagramı

Genişletilebilir - konfigürasyonu zaman içerisinde değiştirlebilir sistemler için dağınık ya da modüler topolojinin kullanımı daha uygundur. Eğer sistem belirli gerilim değeri ve bu değerin katlarında kullanılacak ise, modüler topoloji yapısı daha uygundur (Örneğin; elektrikli araçlar). Her bir yardımcı modül, birden fazla batarya hücresini kontrol etmektedir. Merkez modül ile yardımcı modüller arasında haberleşmenin izole yapıya sahip olması gerekmektedir. Dağınık yapıya göre daha az sayıda yardımcı modüle ihtiyaç duyması, BYS yapısının karmaşıklığını azaltmaktadır.

2.3.3 Dağınık Topoloji

Dağınık topolojiye sahip BYS'lerde her bir bataryanın kendi kontrol birimi bulunmaktadır. Bu kontrol birimleri modüler topolojide olduğu gibi merkezi bir kontrolcüye bağlıdır ve bu merkezi kontrolcü tarafından denetlenmektedir. Bu topolojiyi gösteren blok yapı Şekil 2.11'de verilmiştir.



Şekil 2.11 Dağınık topoloji - Blok diyagramı

Daha karmaşık ve özel yapılar için, dağınık topoloji yapıları kullanılarak istenilen özel gerilim değerleri ve kontrol yapıları kullanılabilmektedir. Kontrol komutları merkez kontrolcüden modüle, bu modülden de diğer modüle olacak şekilde iletilir. Merkez kontrolcü sistemi gözetleyen, herhangi bir batarya bulundurmayan bir yapıdır. Tüm batarya kontrol kararları merkezi kontrolcü tarafından verilmektedir.

3
DÜŞÜK GERİLİMLİ BYS DONANIM TASARIMI

Batarya yönetim sistemleri, sisteme dahil olan bataryaların durumunu ve sağlığını gözlemleyen, gerekli olduğunda şarj edilmesini ve deşarjın durdurulmasını sağlayan, bataryaların şarj durumunu, ömrünü kullanıcıya gösterebilen ve kullanım limitlerinin aşılması durumunda kullanıcıya uyarıda bulunabilen sistemlerdir. Gelişmiş batarya sistemleri, batarya dengeleme, batarya sağlık durumunun izlenmesi, batarya hücrelerinin gerekli durumlarda devreye sokulması ve devreden çıkarılması özelliklerini, dahili şarj birimi ve kullanıcı ile iletişim için haberleşme birimini barındırmaktadır. BYS, kullanım yerlerine göre ek özellikler ile donatılabilmektedir. Bu ek özelliklerin sağlanabilmesi için, ek yapılar kullanılmaktadır. Böylece BYS' lerin üretim maliyetleri düşürülmekte ve kullanıcıların amaca yönelik özelliklere sahip olması sağlanmaktadır.

Bu bölümde, tasarımı ve prototiplenmesi gerçekleştirilen "Düşük gerilimli BYS"ye (DG-BYS) ait donanım çalışmaları verilmiştir. Bölüm 3.1'de tasarlanan donanımın sistem gereksinimleri, Bölüm 3.2'de kontrol birimi tasarımları, Bölüm 3.3'de batarya açma-kapama birimi, Bölüm 3.4'de batarya ölçüm birimi, Bölüm 3.5'de akım ölçüm birimi, Bölüm 3.6'da batarya şarj birimi, Bölüm 3.7'de izole haberleşme birimi ve Bölüm 3.8'de senkronizasyon sinyali izolasyon devresi anlatılmıştır.

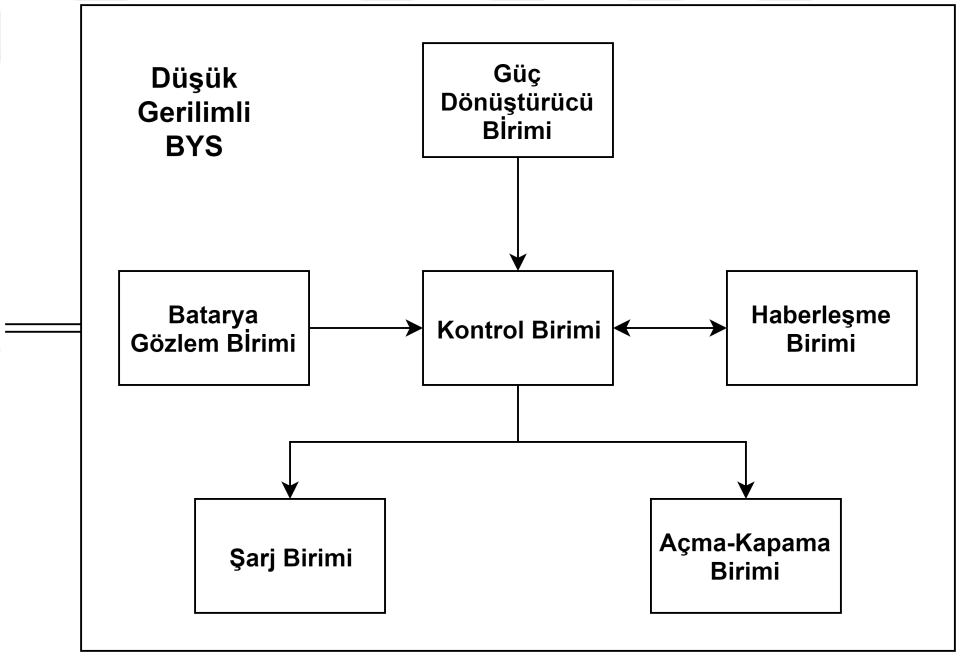
3.1 Sistem Gereksinimleri

Bu tezde tasarlanan BYS'nin aşağıda sıralanan işlemleri gerçekleştirebilmesi amaçlanmıştır:

- Batarya hücrelerinin ölçümünü gerçekleştirebilmesi
- Batarya dengeleme işleminin yapılması
- Şarj ve deşarjı otomatik kesebilmesi
- Bilgilerin kullanıcıya sunulması

- Genişletilebilir-modüler bir yapıda olması
- Batarya gücü ile çalışabilmesi
- Farklı modüller ile haberleşme sağlayabilmesi
- Farklı sistemler için kullanılabilmesi
- Ufak boyutlu olması

Yukarıda belirtilen özellikleri karşılaması amacı ile, dağınık topolojiye sahip bir sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Genişletilebilir ve modüler olması amacı ile her sistem istenenleri sağlayacak birimlere sahip olacak ve bir bataryayı kontrol edecek şekilde tasarlanmıştır. Sistemin genel blok diyagramı Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 Önerilen düşük gerilimli BYS - Blok diyagramı

Tasarımı gerçekleştirilen düşük gerilimli BYS, batarya ölçümünün yapılabilmesi için ölçüm birimine, bataryanın kullanımının durdurulabilmesi için batarya açma-kapama birimine, şarj işleminin yapılabilmesi için şarj birimine, sistemin batarya enerjisi ile çalışabilmesi için güç dönüştürücü birimine, diğer sistem ve modüller ile haberleşme sağlanması ve kullanıcıya bilgilerin sunulması için haberleşme birimine ve tüm birimlerin düzenli bir şekilde çalışması ve kontrol edilmesi için kontrol birimine sahiptir.

3.2 Kontrol Birimi

Sistemin kontrolünün sağlanması amacı ile tasarlanan kontrol birimi mikrodenetleyici ve bu mikrodenetleyicinin çalışması için gerekli yapılardan oluşmaktadır. Yapılan çalışmada iki farklı kontrol birimi tasarlanmıştır: Atmega168 temelli kontrol birimi, STM32F030 temelli kontrol birimi. Bu bölümde kontrol birimlerinin özellikleri ve farklılıkları anlatılmaktadır.

3.2.1 Atmega168 Kontrol Birimi

İlk kontrol biriminde Atmel Atmega168 mikrodenetleyicisi (Şekil 3.2) kullanılmasında, çalışma gerilim aralığı en büyük seçici özellik olmuştur. Bu mikrodenetleyici ile birlikte, kontrol birimi üzerinde harici bir güç dönüştürücüsü kullanılmasına gerek kalmamıştır.



Şekil 3.2 Atmel Atmega168 32 bacaklı yüzey montaj mikrodenetleyicisi

Gerekli gücün batarya tarafından sağlanması, mikrodenetleyicinin çalışma sırasında harcadığı gücün de düşük olmasını gerektirmektedir. Gereken mikrodenetleyici gücünün yüksek olması, bataryaların erken deşarj olmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple mikrodenetleyici 1 MHz hızda, dahili osilatör kullanılarak çalıştırılmıştır. İşlem yapılmadığı zamanlar mikrodenetleyici uyku moduna alınmakta ve güç tüketimi en aza indirgenmektedir.

Mikrodenetleyi 8-bit veriyoluna sahiptir. Düşük güç tüketimine, CMOS yapıya ve RISC mimarisine sahip olan bu mikrodenetleyici MHz başına 1 MIPS hıza ulaşmaktadır. Performans/güç tüketimi yüksek olan bu mikrodenetleyici 16 KB program belleğine sahiptir. 85°C sıcaklık değerine kadar çalışma özelliğine sahip mikrodenetleyicinin 20 sene çalışma ömrü bulunmaktadır.

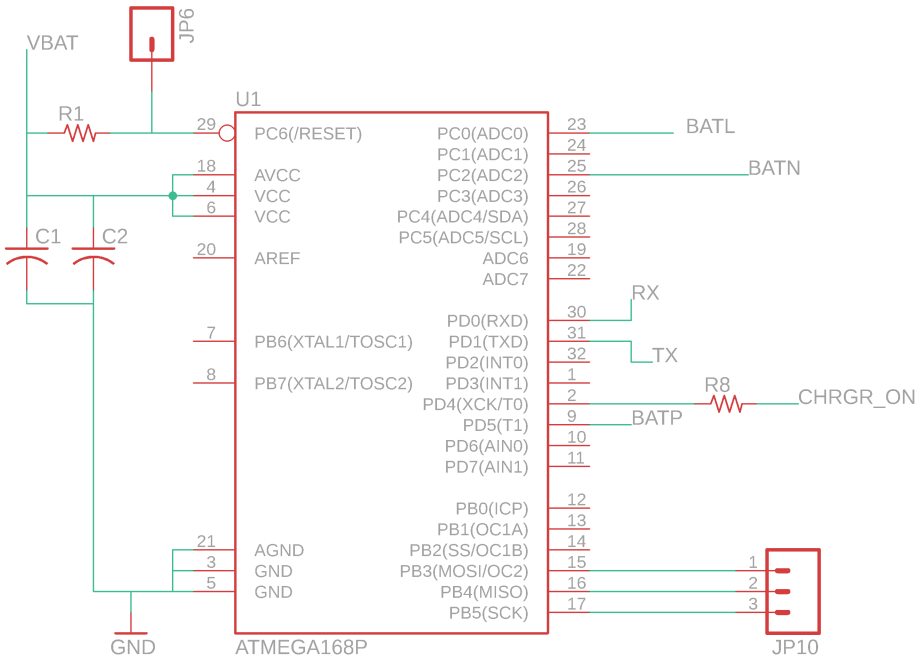
Mikrodenetleyicide dahili olarak zamanlayıcı birimleri, DGM üreteci, analog-dijital çevirici, UART ve SPI haberleşme birimleri ve 23 adet giriş-çıkış pini bulunmaktadır.

Batarya hücrelerinin gerilim seviyesi batarya ölçüm birimi ile Atmega168 mikrodenetleyicisi içinde bulunan analog-dijital çevirici yapısının birlikte kullanılması ile ölçülmektedir. ADÇ 1.1 V değerinde dahili referans gerilimine sahiptir. Bu dahili referans seviyesi batarya ölçümleri için kullanılmıştır.

Tasarımı gerçekleştirilen Düşük Gerilimli BYS üzerinde çalıştırılan algoritma ve kontrol yazılımları mikrodenetleyici üzerinde çalıştırılmaktadır. Kontrol birimi haberleşmenin düzenli bir şekilde sağlanmasını, bataryaların durum kontrolünü, duruma göre açma-kapama ile şarj işlemlerini gerçekleştirmektedir.

Bataryaya ait verilerin kullanıcıya iletilmesi ve BYS'lerin kendi arasında haberleşebilmesi için mikrodenetleyici içerisinde bulunan UART birimi sistem için tasarlanan haberleşme birimi ile birlikte çalıştırılmıştır.

Şekil 3.3'te Atmel Atmega168 mikrodenetleyicisi ile tasarlanan kontrol birimine ait şematik çizimi verilmiştir. Kontrol birimi için gerekli enerji batarya tarafından sağlanmıştır. Mikrodenetleyicinin yazılımının güncellenebilmesi için programlama portuna yer verilmiştir. Batarya açma-kapama biriminin kontrolü için iki sinyal hattı -BATP (Batarya Pozitif), BATN (Batarya Negatif)- kullanılmıştır. Kontrol sinyalleri "Batarya Açma-Kapama Birimi"'nde daha detaylı anlatılacaktır. RX ve TX sinyal hatları haberleşme birimi ile kullanılmaktadır. BATL sinyal hattı, batarya ölçüm birimi ile kullanılmaktadır. CHRGR_ON sinyali hattı, şarj birimi ile birlikte kullanılmaktadır. Bu sinyal hatları için lojik-1 seviyesi batarya gerilimine, lojik-0 seviyesi GND'ye eşittir.

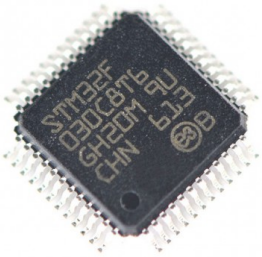


Şekil 3.3 Atmega168 kontrol birimi şematik bağlantısı

3.2.2 STM32F030 Kontrol Birimi

Uygulanan algoritma ve kontrol yazılımlarının boyutlarının yüksek olması ve farklı tekniklerin uygulanabilmesi için daha performanslı bir yapıya ihtiyaç duyulmasından dolayı, ikinci kontrol birimi tasarlanmıştır.

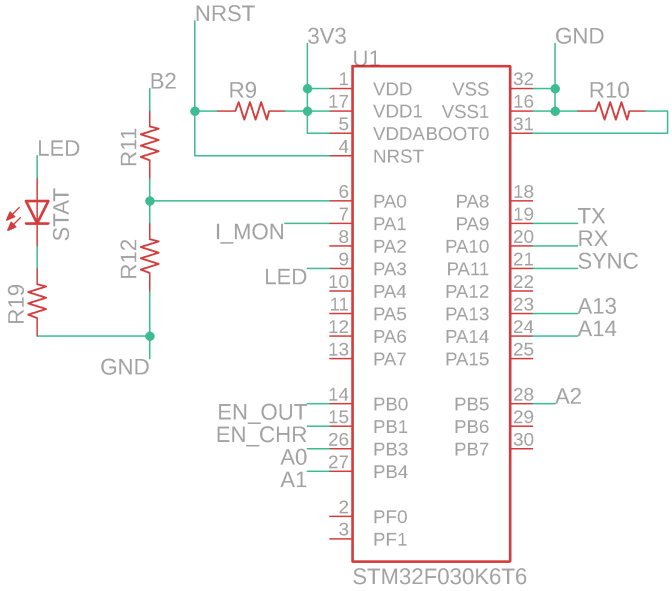
STM32F030 mikrodenetleyicisi (Şekil 3.4) 32-bit ARM Cortex-M0 RISC mimarisi ile çalışan çekirdeğe sahiptir. Dahili osilatör ve PLL birimi ile birlikte 48 MHz saat hızında çalışabilmektedir. Gelişmiş düşük-güç çalışma modlarına ve uyku moduna sahiptir.



Şekil 3.4 ST Microelectronics STM32F030 32 bacaklı yüzey montaj mikrodenetleyicisi

Mikrodenetleyici içerisinde dahili osilatörler, gerçek zaman saati, 32 adet giriş-çıkış pini, direkt bellek erişimi, UART, SPI ve I^2C haberleşme birimleri, dahili sıcaklık sensörü ve gelişmiş zamanlayıcı birimleri bulunmaktadır.

STM32F030 Kontrol birimine ait şematik çizimi Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5 STM32F030 kontrol birimi şematik bağlantısı

Şematik çizim incelendiğinde, mikrodenetleyici pinlerinin hangi birimler ile bağlantılı olduğu görülmektedir. PA1 pinine akım ölçme biriminden gelen sinyal hattı, PB0 pinine açma-kapama birimini kontrol eden sinyal hattı, PB1 pinine şarj birimini kontrol eden sinyal hattı, PB9 ve PB10 pinlerine seri haberleşme hatları, PA22 pinine senkronizasyon hattı ve PB3, PB4, PB5 pinlerine adresleme hatları bağlanmıştır.

3.2.3 Kontrol Birimlerinin Karşılaştırılması

Kontrol birimleri arasındaki temel farklar bulunmaktadır. Bu farklar birimlerin geliştirme sırasında eklenen ve güncellenen özelliklerinden dolayı oluşmuştur. STM32F030 kontrol biriminde, Atmega168 kontrol biriminden farklı olarak akım ölçümü için bir sinyal hattı eklenmiştir. Açma-kapama birimi Atmega168 kontrol kartında 2 adet sinyal hattı ile kontrol edilirken STM32F030 kontrol biriminde 1 adet sinyal hattı ile kontrol edilmektedir. Şarj işlemi için kullanılan sinyal hattı STM32F030 kontrol biriminde DGM sinyali ile birlikte kontrol edilmekte fakat Atmega168 kontrol biriminde şarj işlemi için lojik sinyal kullanılmaktadır. DG-BYS'lere ilk enerji verildiğinde sistem ayarlarının daha hızlı yapılması ve oluşabilecek hataların azaltılması için STM32F030 kontrol biriminde modül adresleme işlemi kullanıcı tarafından yapılmaktadır. Her iki kontrol birimi de 8 adet DG-BYS'nin seri olarak bağlanabilmesi için tasarlanmıştır. Batarya gerilim ölçüm birimi ve haberleşme birimi iki kontrol kartında da ortak olarak kullanılmaktadır.

Atmega168 kontrol birimi, açma-kapama biriminde bulunan transistörlerin farklı çalışma kombinasyonlarının test edilmesi için 2 adet açma-kapama kontrol hattına sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Test edilen anahtarlama kombinasyonları sonunda bu transistörlerin eş zamanlı kontrol edilmesi uygun görülmüştür. Bu sebeple STM32F030 kontrol biriminde kontrol hattı sayısı bire düşürülmüştür.

Kontrol birimleri, diğer DG-BYS'ler ile haberleşmenin sağlanması için mikrodenetleyici içerisinde bulunan dahili UART birimi ile birlikte tasarlanan izole haberleşme birimini kullanmaktadır.

Bataryaların gerilim seviyesi her iki birim tarafından da gözlenmektedir. STM32F030 kontrol birimi ek olarak her batarya üzerinden çekilen akım değerini gözlemleyebilmektedir.

Lojik olarak kontrol edilen şarj birimi, batarya şarj işlemini kontrol biriminden bağımsız gerçekleştirmektedir. Kontrol birimi şarjın aktif edilmesi ya da devre dışı bırakılması kararını vermektedir. DGM sinyali kullanımı, şarj sırasında akım ve gerilim kontrolü yapılmasını sağlamıştır.

Kontrolcü yapılarının özellikleri ve aralarındaki farkları Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Kontrolcü yapılarının özellikleri

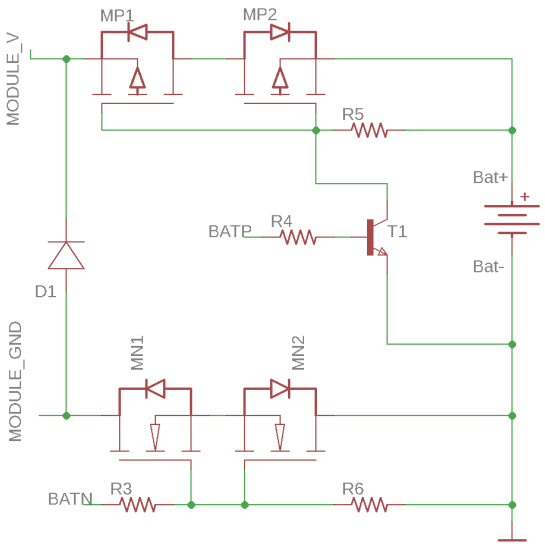
	Atmega168 kontrol birimi	**STM32F030 kontrol birimi**
Açma-kapama kontrol hattı aayısı	2	1
Şarj kontrol hattı sayısı	1	1
Şarj kontrol tekniği	Lojik 0-1	Lojik DGM
Çalışma gerilim aralığı	2.7 - 5.0	2.4 - 3.6
Haberleşme tekniği	UART	UART
Batarya gözlemi	Batarya gerilimi	Batarya gerilim ve akımı
Modül numaralandırma	Otomatik	Kullanıcı tanımlı

3.3 Batarya Açma-Kapama Birimi

Batarya açma-kapama birimi, bu tezde tasarımı gerçekleştirilen özgün çalışmalardan biridir. Bu birim sayesinde çalışma sonunda gerçeklenen DG-BYS, bataryaları birbirinden bağımsız olarak açıp kapatabilme özelliğine sahip olmuştur. Açma-kapama birimi enerji akışını çift yönlü olarak taşıabilmektedir.Bu sayede enerjiyi bataryalardan güç hattına doğru iletebilirken aynı zamanda güç hattından bataryalara doğru da yapabilmektedir. Bu yapı ile bataryaların şarj edilmesi için güç hattına bağlı olması gerekmemektedir. Bataryalar özel olarak şarj edilebilmektedir. Enerji tüketiminin azaltılması için düşük kapı gerilimi değerlerine sahip MOSFET transistörlerin kullanılmıştır.

Kontrol birimleri için iki adet açma-kapama birimi tasarlanmıştır. Temel özellikleri aynı olan bu tasarımlardaki fark, kontrol için kullanılması gereken sinyal hattı sayısıdır. İkinci tasarımda, açma-kapama biriminin kontrolünün daha kolay bir şekilde yapılabilmesi için birinci tasarımda kullanılan BATP ve BATN sinyalleri birleştirilmiştir. P-Kanal MOSFET transistörlerinin aktif-1 sinyali ile anahtarlanmasını sağlamak amacı ile kullanılan NPN BJT transistörü (T1) N-Kanal MOSFET transistör ile değiştirilmiştir. Bu şekilde transistörlerin açma-kapama işlemi için gerekli olan kontrol hattı sayısı bire düşürülmüş ve gerekli akım 200 nA seviyesine indirilmiştir.

Açma-kapama birimine ait şematik bağlantısı Şekil 3.6'da verilmiştir. Birim temel olarak 5 adet transistör ve bir adet diyottan oluşmaktadır. MP1 ve MP2 transistörleri P-kanal, MN1 ve MN2 transistörleri N-kanal MOSFET'lerden seçilmiştir. T1 transistörü npn BJT transistördür. D1 diyotu hızlı schottky diyottur. Açma-kapama biriminde kullanılan komponentlerin listesi Tablo 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.6 2 kontrol uçlu batarya açma-kapama birimi şematik bağlantısı

Tablo 3.2 2 kontrol uçlu batarya açma-kapama birimi komponent listesi

	Şematik İsmi	**Komponent**	**Parça**	**Üretici**
1	MP1-MP2	P-kanal MOSFET transistör	IRLML 6402	International Rectifier
2	MN1-MN2	N-kanal MOSFET transistör	IRLML 2502	International Rectifier
3	T1	npn BJT transistör	MMBT2222A	Taitron
4	D1	Diyot	SS26 Schottky	Hottech

Birimin, bataryayı güç çıkış hattından tamamen izole etmesi amaçlanmıştır. Bu sebeple, bataryadan güç çıkış hattına ya da güç çıkış hattından bataryaya doğru herhangi bir enerji akışını engellenmesi istenmektedir. Güç çıkış hattı ile bataryanın bağlantısı kesildikten sonra, çıkış hattında kopma meydana gelmektedir. Bu kopmanın giderilmesi ve güç çıkış hattının tamamlanabilmesi için, D1 diyotu kullanılmaktadır.

Düşük R_{DSon} değerine sahip, lojik gerilim seviyeleri ile anahtarlanabilen IRLML serisi transistörler açma-kapama biriminde anahtar elemanı olarak seçilmiştir. P-kanal için IRLML6402, N-kanal için IRLML2502 seçilmiştir. Bu sayede mosfet kapı entegreleri kullanılmasına gerek kalmamış ve batarya gücü ile çalıştırılabilen bir yapı ortaya çıkmıştır. Transistörlerin teknik özellikleri Tablo 3.3'te verilmiştir.

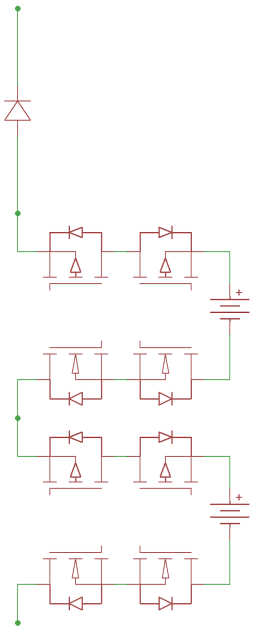
Tablo 3.3 MOSFET transistörleri elektriksel özellikleri

	Komponent	**VDS (V)**	**Rds (Ω)**	**Vgs (V)**	**Id (A)**	**Igs (nA)**
1	IRLML6402	-20	0.065	-0.6	-3.7	-100
2	IRLML2502	20	0.045	1	4.2	100

Bataryaların pozitif terminali ile güç hattı arasındaki anahtar yapısını oluşturmak için P-Kanal, negatif terminal ucu ile güç hattı arasındaki anahtar yapısını oluşturmak için de N-Kanal MOSFET transistörler kullanılmaktadır.

Aynı tip transistörler savak uçları birbirine bağlı ve kaynak uçları güç hattı ve bataryanın terminallerine gelecek şekilde bağlanmıştır. Transistörlerin kapı uçları ortak olarak bağlanmış ve birlikte kontrol edilmesi sağlanmıştır. Transistörler kapalı durumda (anahtar yapısı açık) iken gövde diyotları güç hattı ile batarya arasında izolasyon sağlamaktadır. Batarya güç hattından izole edildiğinde, güç hattı açık devre halne gelmektedir. Bu, batarya paketinde kesintiye sebep olmaktadır. Bunun önüne geçilmesi ve diğer bataryaların güç hattı ile iletimine devam edilmesi için, D1 diyotu kullanılmaktadır. Bu diyot, transistörler iletimde (anahtar kapalı) iken batarya terminalleri arasında kısa devre olmasını engellemektedir. Anahtarlar açık iken diyot iletime girerek güç hattını tamamlamaktadır.

Seri bağlı üç batarya ile oluşturulan batarya sisteminde, ilk iki bataryanın kullanıma açık bir bataryanın kullanıma kapalı olduğu konfigürasyon Şekil 3.7'de gösterilmiştir.Kullanıma açık olan bataryaların depoladığı enerji, transistörler üzerinden güç hattına aktarılmaktadır. Kapalı olan hücre sistemden çıkarıldıktan sonra güç hattının tamamlanması iletim modunda olan diyot elemanı ile sağlanmıştır. İletimde olan transistörler ve diyot elemanları kapalı anahtar olarak çalışmaktadır. Anahtar yapısı olarak düşünüldüğünde sistemin eşdeğer modeli Şekil 3.8'de görülmektedir.



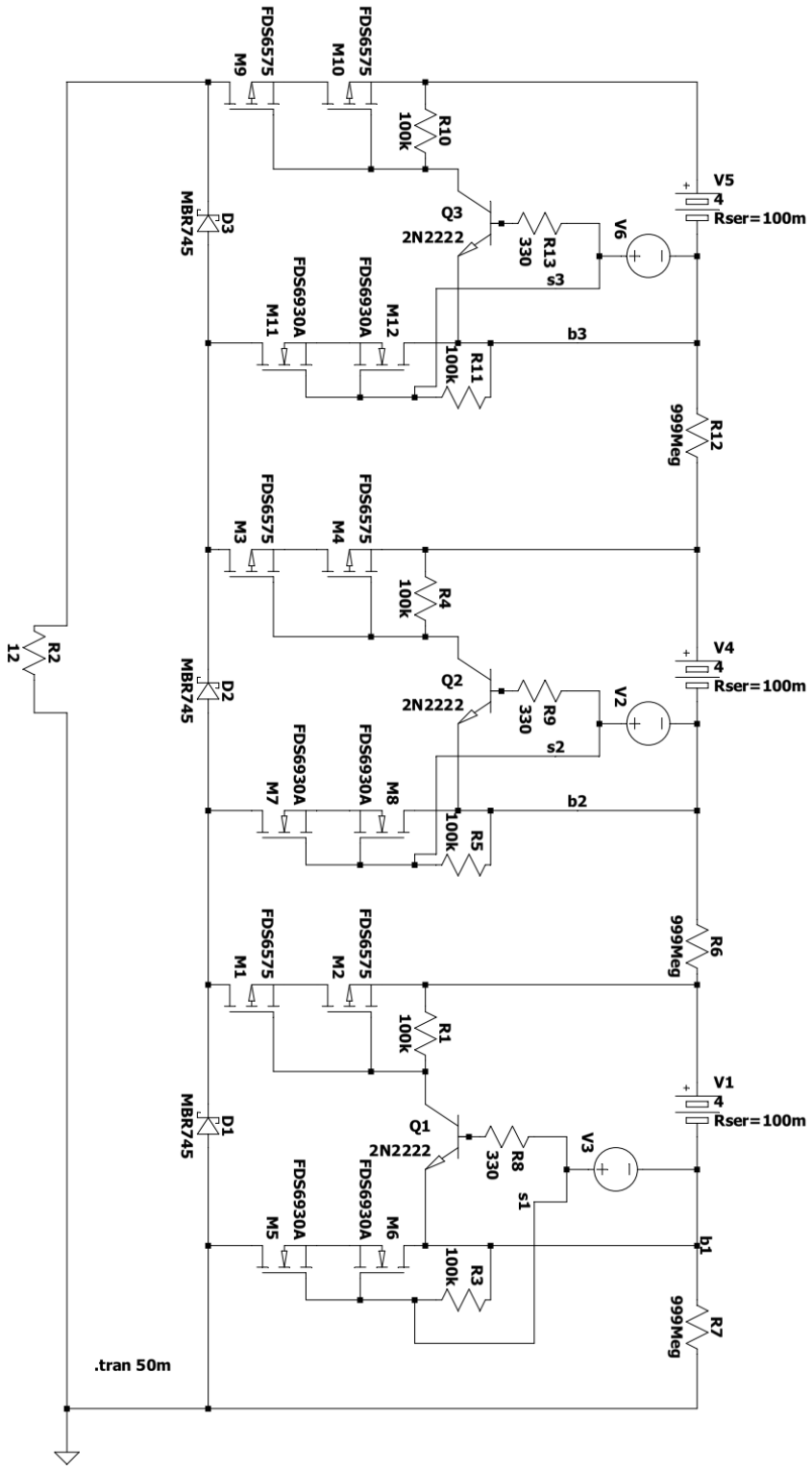
Şekil 3.7 DG-BYS çalışma örneği



Şekil 3.8 DG-BYS çalışma örneği eşdeğer modeli

3.3.1 Batarya Açma-Kapama Birimi Simülasyonu

Tasarlanan açma-kapama birimi, prototipleme işleminden önce simülasyon üzerinde test edilmiştir. Simülasyon programı olarak LTSpice programı kullanılmıştır. Tasarlanan LTSpice simülasyonu Şekil 3.9'da verilmiştir.

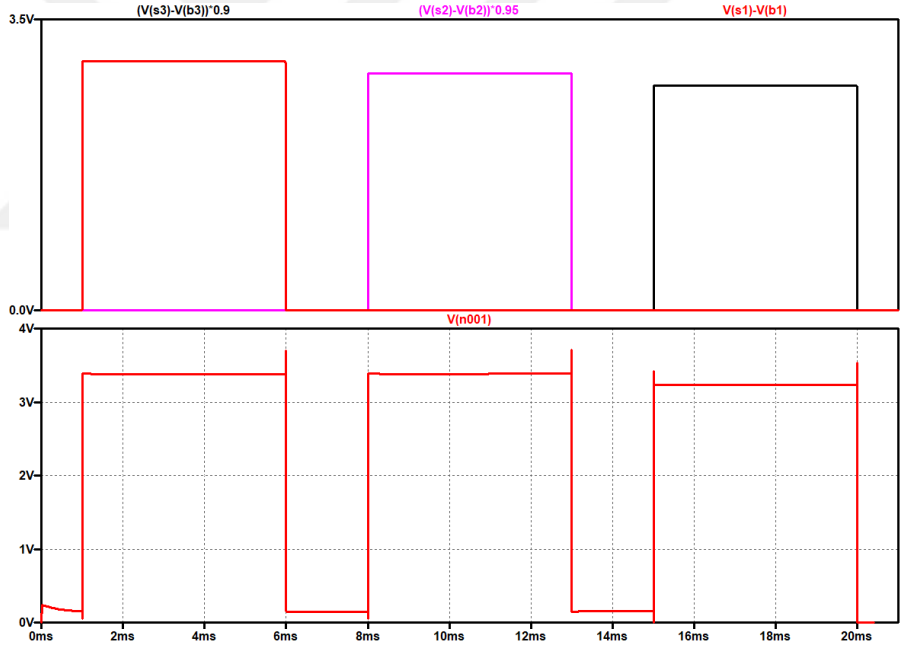


Şekil 3.9 Açma-kapama birimi LTSpice şematik çizimi

Simülasyon üzerinde üç adet açma-kapama birimi seri olarak bağlanmıştır. Her birim 4 V gerilim değerine ve 100 mΩ iç dirence sahip bataryaları kontrol etmektedir. Bataryaların negatif ve pozitif terminalleri arasına bağlanan 999 MΩ değerindeki dirençler, simülasyon programının çalışması için gerekli olmaktadır.

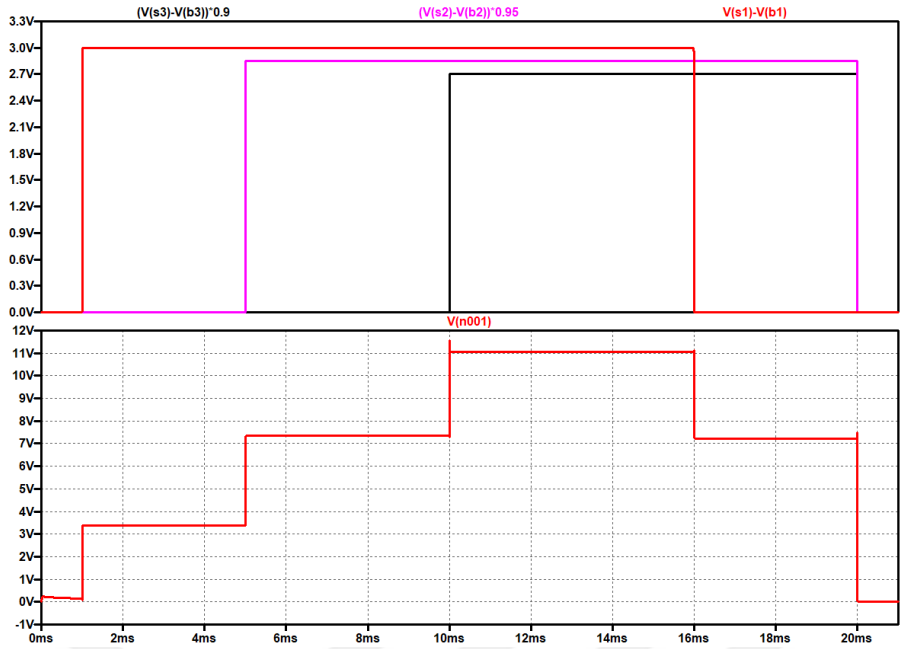
Transistörler kapalı olduğunda, bataryaların simülasyon referans seviyesi olan GND hattı ile bağlantısı kesilmekte ve simülasyon programı bundan dolayı çalışmamaktadır. Yük direnci olarak 12 Ω direnç kullanılmış ve sistem çıkışında en yüksek 1 A akım çekilmesi durumu simüle edilmiştir.

Birinci simülasyonda seri bağlı açma-kapama birimleri sırası ile açılıp kapatılmıştır. Simülasyon sonuçları Şekil 3.10'da verilmiştir. Her birim 5 msn süre ile batarya enerjisini sistem çıkışına iletmiştir. Tasarlanan birimler istenilen görevi tamamlamış ve kapalı olan bataryaların güç çıkışından izole edildiği görülmüştür. Aktif edilen bataryalar ile kapalı olan bataryalar arasında sızıntı akımlarının olmadığı da gözlenmiştir.



Şekil 3.10 Açma-kapama birimi batarya testi (Tekli açma-kapama)

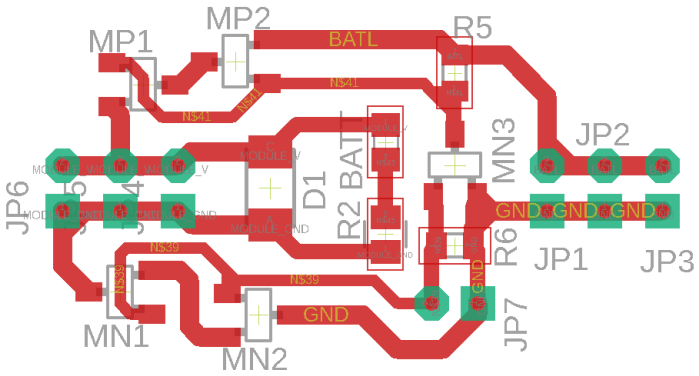
Yapılan ikinci simülasyonda seri bağlı birimler çoklu olarak aktif edilmiştir. Simülasyon sonuçları Şekil 3.11'da verilmiştir. 1 msn ile 5 msn aralığında sadece bir numaralı batarya aktif edilmiştir. 5 msn ile 10 msn aralığında bir ve iki numaralı batarya aktif edilmiş, üç nuamralı batarya kullanım dışı bırakılmıştır. 10 msn ile 16 msn aralığında üç batarya da aktif edilmiştir. Daha sonra bir nuamralı batarya kapatılmış ve simülasyonun 20 msn'sinde tüm bataryalar kapatılmıştır. Simülasyon sonuçları, açma-kapama birimlerinin istenilen şekilde çalıştığını ve tasarımın simülasyon ortamında sorunsuz olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.11 Açma-kapama birimi batarya testi (Çoklu açma-kapama)

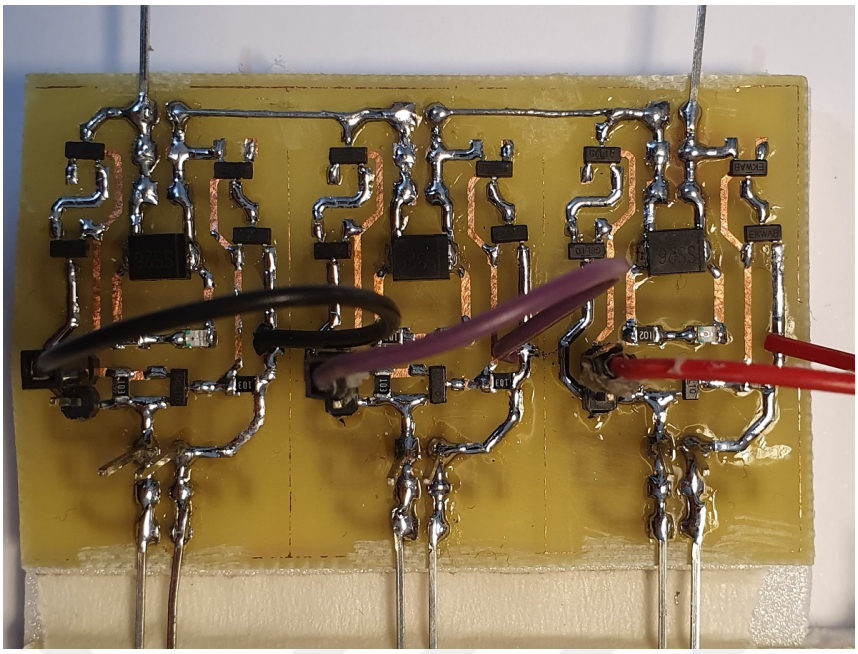
3.3.2 Batarya Açma-Kapama Birimi Prototip Üretimi

Tasarımı ve simülasyonu tamamlanan açma-kapama biriminin devre çizimi, Autodesk EAGLE programı kullanılarak hazırlanmıştır. Devre çizimi için Şekil 3.6'da verilen şematik çizim referans alınmış ve tamamlanan çizim Şekil 3.12'de gösterilmiştir. Test yapılması için çizilen bu devreden üç adet hazırlanmış ve simülasyonlarda yapılan testler prototip devre üzerinde uygulanmıştır.



Şekil 3.12 Açma-kapama birimi devre çizimi

Hazırlanan prototip Şekil 3.13'de gösterilmiştir. Prototip yapıda batarya girişi ve güç çıkış hattında üçer adet giriş-çıkış yuvası bulunmaktadır. Bu şekilde, atlama kabloları kullanılarak birimler birbirine bağlanabilmektedir. Testlerin gerçekleştirilmesi için üç adet birim seri olarak bağlanmıştır. 18560 boyutundaki Li-İon bataryalar nominal gerilim değerleri olan 3.7 V'a sabitlenerek açma-kapama birimlerinin testlerinde kullanılmıştır.



Şekil 3.13 Açma-kapama birimi prototip üretimi

Birim kontrolü için gerekli enerji her birim için bağlı olduğu batarya tarafından sağlanmıştır. Bataryalar sırası ile birer birer, ikili kombinasyonlarda ve hepsi aktif edilerek test edilmiştir. Test sonuçları Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4 Açma-kapama birimi prototipi test sonuçları

	Sistem çıkış gerilimi (V)	**Aktif bataryaların toplam gerilimi (V)**	**Diyotlar üzerindeki gerilim değeri (V)**
1 batarya 2 diyot	3.57	4	0.42
2 batarya 1 diyot	7.82	8	0.17
3 batarya - 1 diyot	11.99	12	0

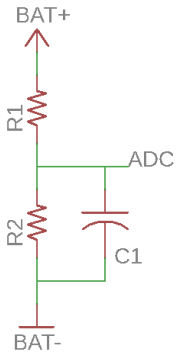
3.4 Batarya Ölçüm Birimi

Tam dolu batarya hücresinin gerilim seviyesi 4.2 V iken kullanım sonunda gerilim seviyesi 2.7 V olmaktadır. Kontrol birimlerinin besleme gerilimi, bataryadan direkt olarak sağlanmaktadır. Besleme geriliminin çalışma sırasında değişiklik göstermesi, bazı mikrodenetleyici parametrelerinde değişikliklere sebep olmaktadır. Mikrodenetleyicinin standart analog-dijital dönüştürücü ayarlarında, referans gerilim seviyesi besleme gerilim seviyesi ile belirlenmekte ve besleme geriliminde meydana gelen değişimler referans gerilimini etkilemektedir.

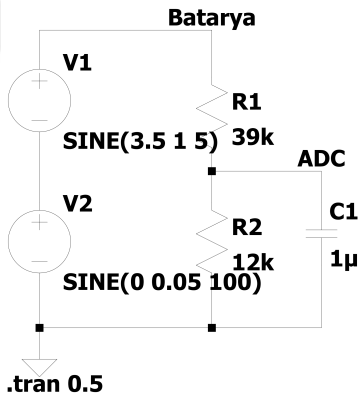
Atmega168 kontrol biriminde bu ölçüm hatasının önüne geçmek için dahili referans gerilim kaynağı kullanılmaktadır. Batarya gerilim seviyesinin maksimum değeri 4.2 V olduğundan, güvenlik payı olarak 0.3 V eklenmiş ve ADC biriminin maksimum 4.5 V gerilim seviyesini ölçmesi kararlaştırılmıştır. İki kontrol biriminin de ölçebileceği en yüksek analog ölçüm değeri 4.5 V değerinin altında olduğundan dolayı gerilim bölücü yapı kullanılmıştır.

Ölçüm birimi için kullanılan gerilim bölücü yapısına ait şematik çizim Şekil 3.14'de gösterilmiştir. R1 ve R2 dirençleri 4.5 V olarak belirlenen değerin kontrol birimleri için ölçülebilir aralıkta olmasını sağlamaktadır. C1 kondansatörü analog sinyali filtrelemek için kullanılmaktadır.

Birinci kontrol birimi için R1 değeri 39 kΩ, R2 direnci 12 kΩ olarak belirlenmiş, bu değerler ile 4.5 V giriş gerilimi 1.05 V çıkış gerilimine düşürülmüştür. Batarya gerilimi gözlenirken analog-dijital çeviricideki gürültüyü azaltmak için C1 değeri 1 uF olarak seçilmiştir. Gerilim bölücü yapıya ait simülasyon çizimi Şekil 3.14'de, simülasyon şematik çizimi Şekil 3.15'da verilmiştir.

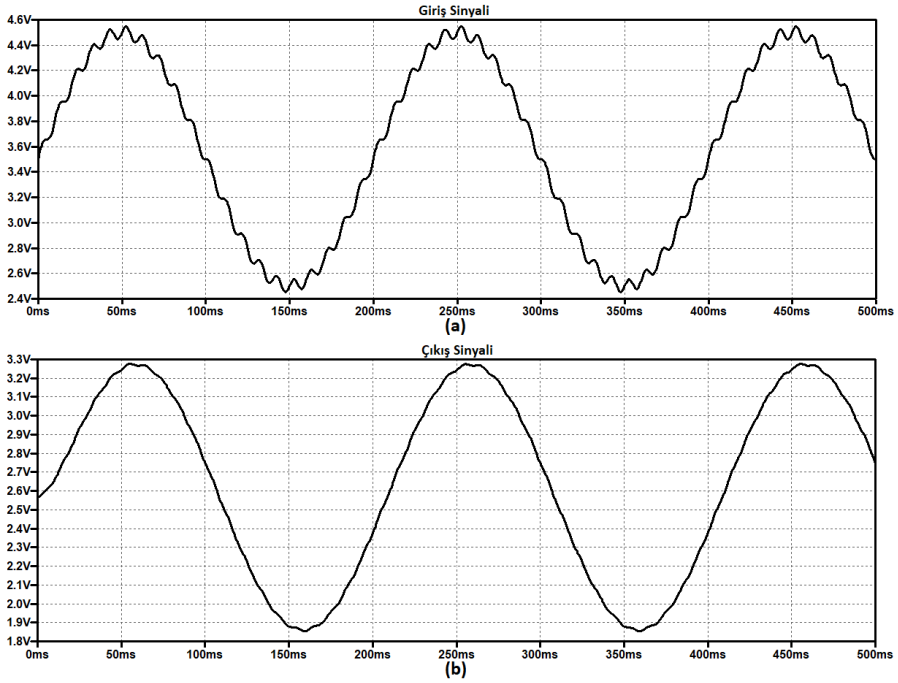


Şekil 3.14 Gerilim bölücü yapı



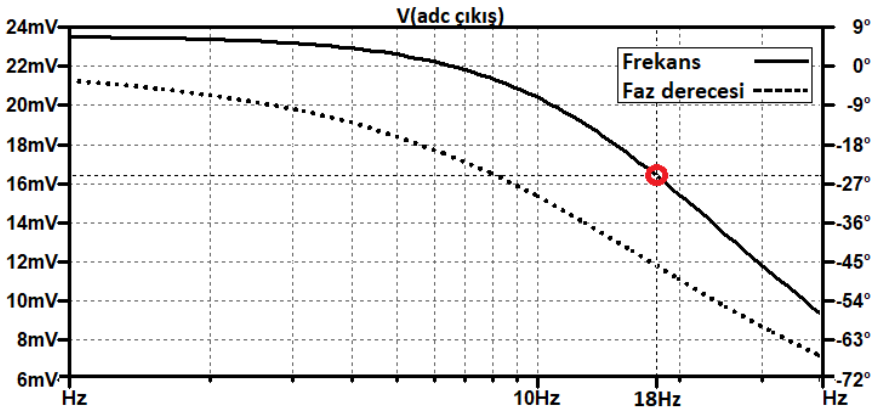
Şekil 3.15 Gerilim bölücü simülasyon şematik çizimi

Simülasyon çiziminde, V1 kaynağı bataryayı temsil etmektedir. Batarya DC kaynak olmasına rağmen, batarya alt ve üst değerlerine karşılık oluşturulan yapının çıkışındaki sinyal seviyelerini görebilmek için 10 Hz frekansa sahip sinüs kaynağı olarak ayarlanmıştır. Sinüs sinyalin üst tepe noktası 4.5 V, alt tepe noktası 2.5 V olmaktadır. Yapıda bulunan filtrenin gürültüyü engellediğini görmek için, V1 kaynağına seri bağlı V2 kaynağı konulmuştur. V2 kaynağı 100 Hz frekansa ve 50 mV genliğe sahip olan bir gürültü sinyalini simüle etmektedir. Kontrol birimlerinin ADÇ giriş değeri en yüksek 3.3 V gerilimi ölçebilmektedir. Bu sebeple R1 direnci 12 kΩ, R2 direnci 33 kΩ seçilmiştir. Bu değerler ile 4.5 V giriş gerilimi 3.3 V çıkış gerilimine düşürülmüştür. Gerilim bölücü yapıya ait çıkış sinyalinin zamana bağlı değişim grafiği Şekil 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.16 Gerilim bölücü yapı zamana bağlı değişimi a-Batarya gerilimi (Gürültü eklenmiş sinyal), b-Gerilim bölücü filtrelenmiş çıkış sinyali

Tasarımda hesaplanan teorik hesaplar ile simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında, değerlerin birbiri ile uyuştuğu görülmüştür. Seçilen değerlere göre her iki kontrol birimi için seçilen değerler ile yapılan simülasyonlar sonucunda, 100 Hz frekansa sahip gürültünün filtrelendiği ve filtre kesim frekansının 18 Hz olduğu belirlenmiştir. Gerilim bölücü yapının frekans cevabı grafiği Şekil 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.17 Gerilim bölücü yapı frekans cevabı

3.5 Akım Ölçüm Birimi

Bataryaların kullanım ömrünün azalmaması, bataryaların hızlı yıpranmaması için bazı sınırlar içerisinde kullanılması gerekmektedir. Bunlardan biri, en yüksek deşarj ve şarj akımı değerleridir.

Yüksek deşarj akımları, bataryaların aşırı ısınmasına ve üretici firma tarafından verilen kullanım süresinden daha kısa sürede ömrünü tamamlamasına yol açmaktadır.Batarya tiplerine göre şarj yöntemleri de geliştirilmiştir. En yaygın kullanılan şarj yöntemi, sabit akım - sabit gerilim yöntemidir. Bu yöntemde, bataryaların belirli gerilim seviyesine kadar sabit akım ile şarj edilmesi gerekmektedir. Sabit akım modunda, seçilen akım değeri bataryaların sağlığı açısından önemlidir. Bu sebeple şarj akımının gerçek zamanlı olarak gözlenerek sabit tutulması gerekmektedir.

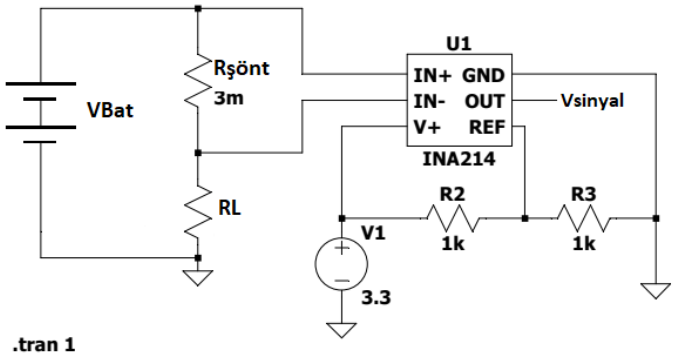
Bataryalardan çekilen enerjinin kullanıcıya sunulması, sistemin çalışması sırasında bataryalar ile DG-BYS modüllerinin sağlıklı çalışabilmesi ve bataryaların şarj edilmesi sırasında şarj akımının ayarlanabilmesi için her modül üzerinde bulunan, ölçüm esnasında az enerji tüketimine sahip olan ve hassas sonuç veren bir yapı tasarlanması ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Akım ölçümünü yapmak için, şönt direnç üzerinden ölçüm yapan, PCB üzerinde az yer kaplayan, düşük güç tüketimine sahip olan INA214 entegresi tercih edilmiştir. SC70 kılıfında olan bu entegre PCB üzerinde 2 mm X 1.2 mm boyutlarında yer kaplamaktadır.

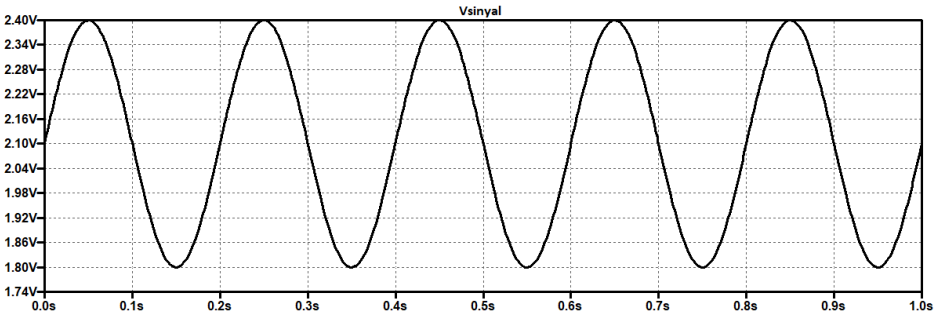
Batarya akımı, bataryaya seri bağlı şönt direncinden geçmektedir. Kullanılan INA214 entegresi, şönt direnç üzerinde oluşan gerilim değerini okumakta ve bunu 100 kat kuvvetlendirerek çıkış sinyaline iletmektedir. Akımın yönüne göre, direnç üzerinde oluşan gerilim değeri pozitif ya da negatif olmaktadır. INA214 entegresinin negatif gerilim referans değerine sahip olmamasından dolayı sinyal çıkışında negatif gerilim değerleri görülmemektedir. Direnç üzerinde oluşan negatif gerilim değerlerinin gözlenebilmesi için, entegre üzerinde bulunan Referans pini kullanılmaktadır. Sinyal çıkış değeri Formül 3.1 kullanılarak hesaplanmaktadır. V_{Sont}, şönt direnci üzerinde oluşan gerilim değerini ve Referans(V) ayarlanan 1.65V gerilim seviyesini göstermektedir.

$$Sinyal(V) = Referans(V) + V_{Sont} * 100 \tag{3.1}$$

Akım ölçüm biriminde kullanılan şönt direnç değeri 3 mΩ, entegre besleme gerilim değeri 3.3 V, referans gerilim seviyesi 1.65 V olarak seçilmiştir. Bu değerler kullanılarak, iki kontrol birimi ile de uyumlu çalışabilmesi ve 2 A şarj - deşarj akımı okuyabilmesi sağlanmıştır. Referans gerilim seviyesini sağlamak için besleme gerilimi, gerilim bölücü yapısı ile 1.65 V'a ayarlanmıştır. Tasarlanan yapının şematik çizimi Şekil 3.18'de verilmiştir. Yapının sinüs sinyal girişine karşılık çıkış sinyalinin zamana bağlı değişimi Şekil 3.19'da verilmiştir.



Şekil 3.18 Akım ölçüm birimi şematik çizimi



Şekil 3.19 Akım ölçüm birimi "Vsinyal" gerilimi zamana bağlı değişimi

3.6 Batarya Şarj Birimi

DG-BYS'ler ile oluşturulan batarya paketinde bulunan seri bağlı hücrelerin, paralel oalrak ve zaman paylaşılı olarak şarj edilmesi bu tez çalışmasının amaçlarından biridir. Bu amacı gerçekleştirmek için iki adet batarya şarj birimi tasarlanmıştır: Röle temelli şarj birimi birinci şarj birimi olarak, transistör temelli şarj birimi de ikinci şarj birimi olarak adlandırılacaktır.

3.6.1 Birinci şarj birimi

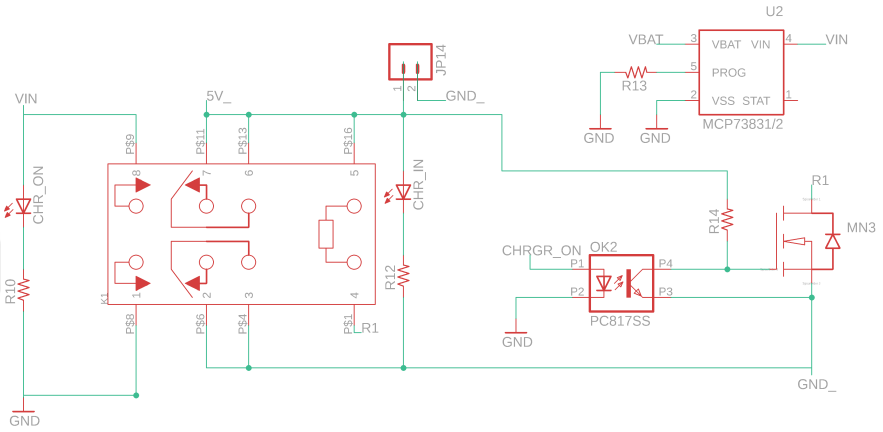
Birinci şarj biriminde kullanılan elemanların listesi Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5 Birinci şarj birimi malzeme listesi

	Şematik ismi	Komponent	Parça	Üretici
1	K1	Röle	Hk23f-DC	Huike
2	OK2	Optokuplör	PC817	Sharp
3	MN3	NMOS MOSFET transistör	IRLML2502	Infineon
4	U2	Şarj entegresi	MCP73832	Microchip

Röle elemanı olarak Hk23f-DC model 5V mini röle kullanılmıştır. Bu model şarj hattından sağlanan 5V ile tetiklenebilmektedir. Tetikleme işleminin şarj hattından alınan enerji ile sağlanması ve şarj hattı ile bataryalar arasında izolasyonun tamamen sağlanabilmesi için, optokuplör elemanı rölelerin tetiklenmesini sağlayan MN3 transistörünü anahtarlamak için kullanılmıştır.

Birinci şarj birimine ait şematik çizimi Şekil 3.20'de verilmiştir. Birinci şarj biriminde şarj hattı ile batarya arasında izolasyon sağlamak için mekanik bir eleman olan röle kullanmaktadır.

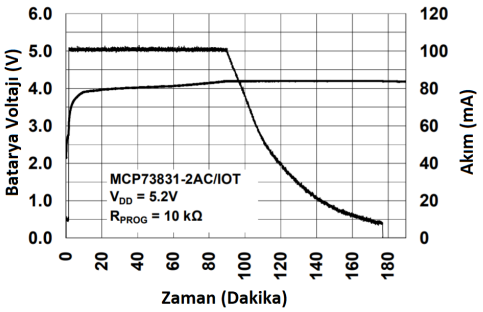


Şekil 3.20 Birinci şarj birimine ait şematik çizim

Optokuplör elemanı olarak kontrol biriminden gelen lojik seviyeli sinyal ile tetiklenebilen PC817 kullanılmıştır. Bataryaların şarj işlemi, hazır bir şarj entegresi olan MCP73832 entegresi ile sağlanmaktadır. Maksimum şarj akımı şematik çiziminde bulunan R13 direnci ile ayarlanmaktadır. Şarj akımının direnç değerine göre formülü Formül 3.1'de verilmiştir. Formüle göre R_{PROG} direncinin değeri 2 kΩ olarak belirlenmiş ve şarj akımı maksimum değeri olan 500 mA olarak ayarlanmıştır.

$$I_{REG} = 1000V/R_{PROG} \tag{3.2}$$

Bu entegre, 5 V giriş gerilimi ve maksimum 500 mA şarj akımı değerlerine sahiptir. Batarya şarjı için 4.1 V gerilim seviyesine kadar sabit akım ile şarj edilmektedir. 4.2 V seviyesine ulaşıldığı zaman, gerilim 4.2 V seviyesinde sabit tutulmakta ve kademeli olarak şarj akımı düşürülmektedir. Şarj akımı kesim değerine ulaştığında şarj işlemi tamamlanmaktadır. Şarj entegresinin şarj profilini gösteren grafik Şekil 3.21'de verilmiştir.

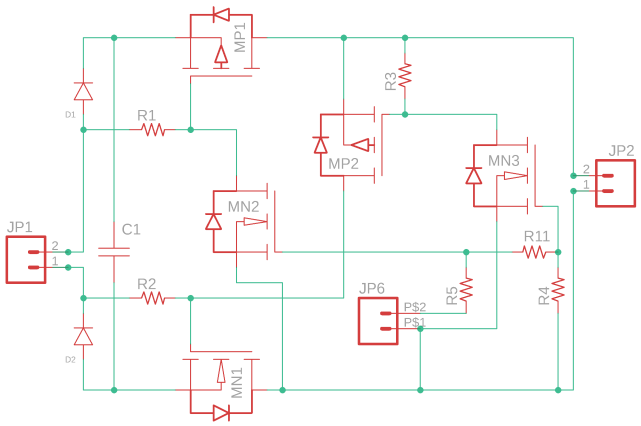


Şekil 3.21 MCP73832 şarj profili

3.6.2 İkinci şarj birimi

Birinci şarj biriminde kullanılan röle ve şarj entegresi için kullanılması gereken gerilim değeri 5 V'tur. Röle elemanından dolayı aç-kapa kontrolü dışında farklı bir kontrol metodu uygulanamamaktadır. Şarj gerilim seviyesinin sabit olmasından ve şarj entegresinin özelliklerinden dolayı şarj metodu, şarj gerilimi ve şarj akımı değiştirilememektedir. Farklı tekniklerin uygulanabilmesi ve şarj geriliminin, şarj akımının değiştirilebilmesi için ikinci bir şarj birimi tasarlanmıştır.

İkinci şarj birimine ait şematik çizimi Şekil 3.22'de verilmiştir. İkinci şarj biriminde şarj hattı ile batarya arasında izolasyon sağlamak için transistör tabanlı bir yapı kullanılmıştır.



Şekil 3.22 İkinci şarj birimine ait şematik çizim

Birim temel olarak 5 adet transistör, iki adet diyot ve bir adet kondansatörden oluşmaktadır. MP1 ve MP2 transistörleri P-kanal, MN1, MN2 ve MN3 transistörleri N-kanal MOSFET'lerden seçilmiştir. JP1 konnektörü şarj hattı bağlantısı, JP2 konnektörü de batarya bağlantısı için kullanılmıştır. D1 ve D2 diyotları hızlı schottky tipi diyottur. Bu diyotlar bataryalardan şarj hattına kaçak akım geçişini engellemek için kullanılmıştır. MP1 ve MN1 MOSFET transistörleri, şarj hattı ile bataryalar arasındaki iletimi kesmek için kullanılmıştır.

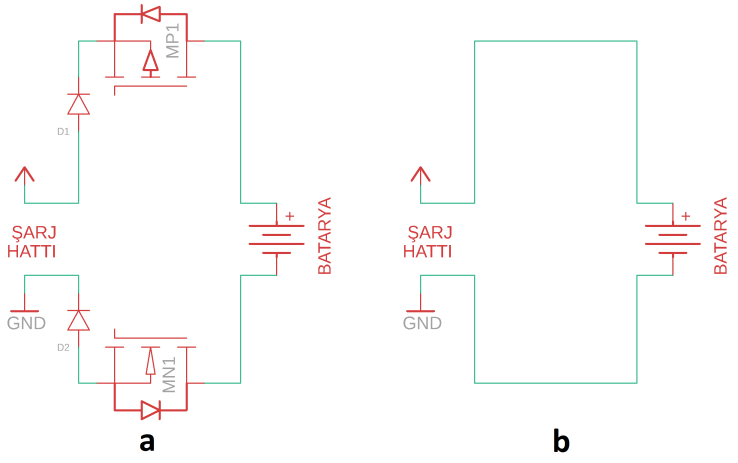
Transistörlerin istenmeyen durumlarda iletime geçmesini engellemek amacı ile MP1 transistörü R1 direnci ile şarj hattının pozitif terminaline, MN1 transistörü R2 direnci ile şarj hattının negatif terminaline bağlanmıştır. Bu şekilde transistörlerin kontrol birimi tarafından aktif edilmedikçe kesimde kalması sağlanmıştır.

MN2 ve MN3 transistörleri, kontrol birimi tarafından lojik seviye ile anahtarlanmaktadır. Lojik seviye olarak 2.5 V ile 6 V arasında bir değer kullanılabilmektedir. MN2 transistörü iletime geçtiğinde, MP1 transistörüne ait Vg gerilimi batarya negatif terminali seviyesine çekilmektedir. MN3 transistörü iletime geçirilerek MN1 transistörüne ait Vg gerilimi MP2 transistörü üzerinden batarya pozitif terminali seviyesine çekilmektedir. MN2 ve MN3 transistörlerinin iletime geçirilmesi sonucunda MP1 ve MN1 transistörleri iletime geçirilmekte ve şarj hattından bataryaya doğru enerji iletimi sağlanmaktadır. İkinci şarj biriminde kullanılan komponentlerin listesi Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6 İkinci şarj birimi parça listesi

	Şematik ismi	**Komponent**	**Parça**	**Üretici**
1	MP1, MP2	PMOS MOSFET transistör	IRLML6402	Infineon
2	MN1, MN2 MN3	NMOS MOSFET transistör	IRLML2502	Infineon
3	D1, D2	Diyot	SS26 Schottky	Hottech
4	C1	Kondansatör	1 uF	

Şarj biriminin şarj esnasında iletimde olan elemanları ve yapının eşdeğer devresi Şekil 3.23'de gösterilmiştir. Batarya şarj edilirken, şarj hattındaki enerji D1 diyotu ve iletimde olan MP1 MOSFET transistörü üzerinden bataryaya aktarılmaktadır. İletimde olan MN1 MOSFET transistörü ve D2 diyotu üzerinden devre hattı tamamlanmaktadır.

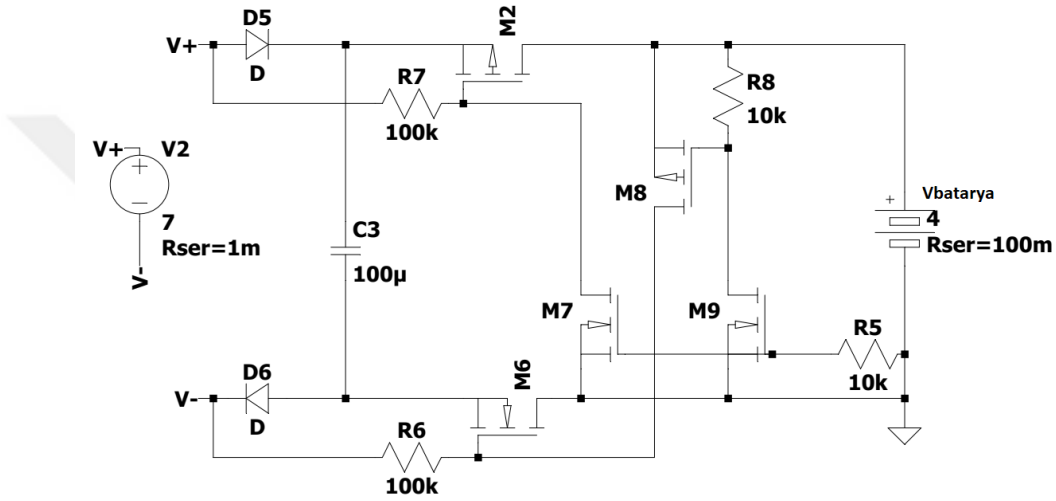


Şekil 3.23 İkinci şarj birimi (a) Çalışma örneği (b) Eşdeğer devresi

Batarya açma-kapama biriminde kullanılan Düşük R_{DSon} değerine sahip MOSFET transistörlerin bu yapıda da kullanılması sayesinde, şarj biriminin kontrolü kontrol biriminden gelen sinyal hattı tarafından sağlanabilmekte ve harici bir kapı entegresi ve ya DA-DA çevirici yapısı kullanılmasına gerek duyulmamıştır.

3.6.3 İkinci Şarj Birimi Simülasyonu

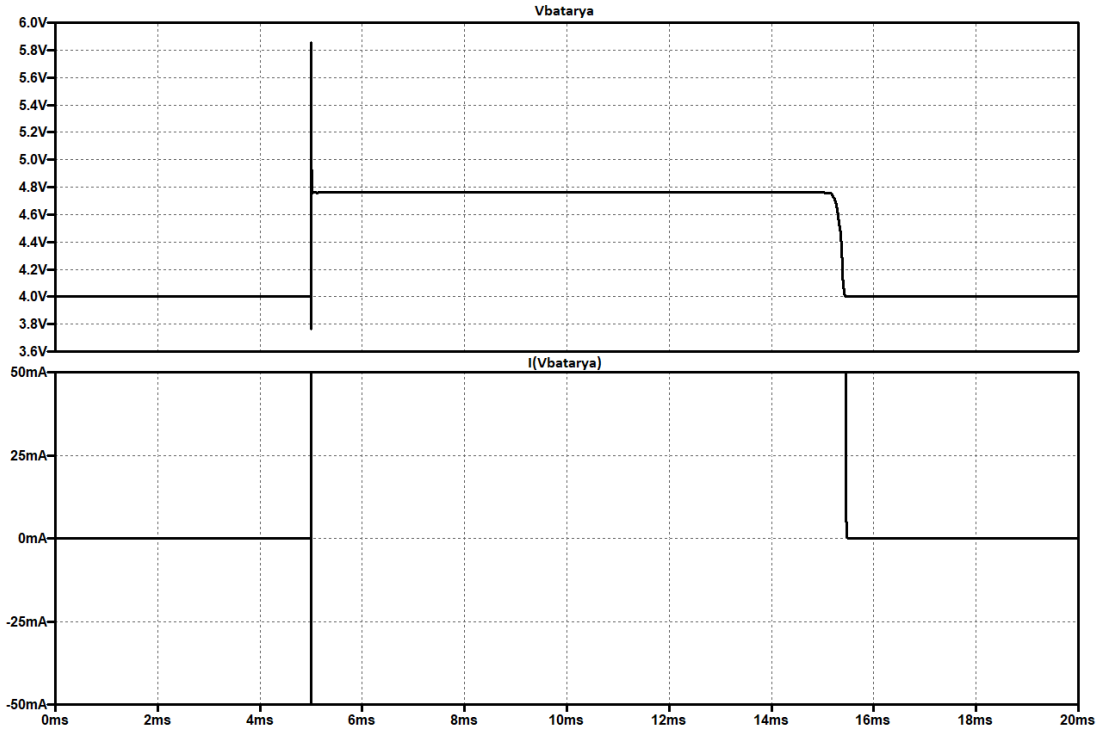
Tasarlanan açma-kapama birimi, prototipleme işleminden önce simülasyon üzerinde test edilmiştir. Simülasyon programı olarak LTSpice programı kullanılmıştır. Tasarlanan LTSpice simülasyon çizimi Şekil 3.24'de verilmiştir.



Şekil 3.24 İkinci şarj birimi simülasyon çizimi

İkinci şarj birimi simülasyonu, batarya ile şarj hattı arasında sağlaması gereken izolasyon yapısının testi için yapılmaktadır. Batarya olarak LTSpice kütüphanesinde bulunan batarya kullanılmış ve 100 mΩ iç direnç eklenmiştir. Şarj hattına enerji sağlamak amacı ile V2 DC gerilim kaynağı kullanılmış ve 1 mΩ iç direnç eklenmiştir. Yapının simülasyon testi için batarya başlangıç gerilim değeri olarak 4 V, güç hattı için kullanılan V2 kaynağı için gerilim değeri olarak 7 V seçilmiştir.

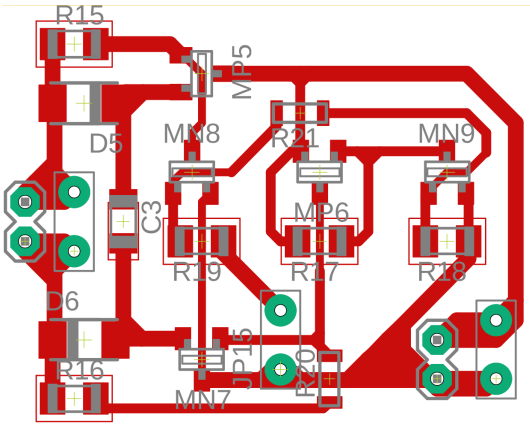
Çizimi yapılan yapının şarj gerilimi ve akımını gösteren grafik sonucu Şekil 3.25'de verilmiştir. Bu simülasyon için batarya gerilimi gözlenmiştir. MOSFET transistörler kesimde iken, batarya gerilimi sabit 4 V seviyesinde kaldığı ve şarj hattından bataryaya doğru herhangi bir akım geçişi olmadığı görülmektedir. Transistörler iletime geçirildiğinde, şarj hattından bataryaya enerji transferi olduğu görülmektedir. Transistörlerin iletim durumundan kesim durumuna geçmesi ile birlikte, enerji iletiminin de sonlandırıldığı görülmüştür.



Şekil 3.25 İkinci şarj birimi simülasyon sonucu

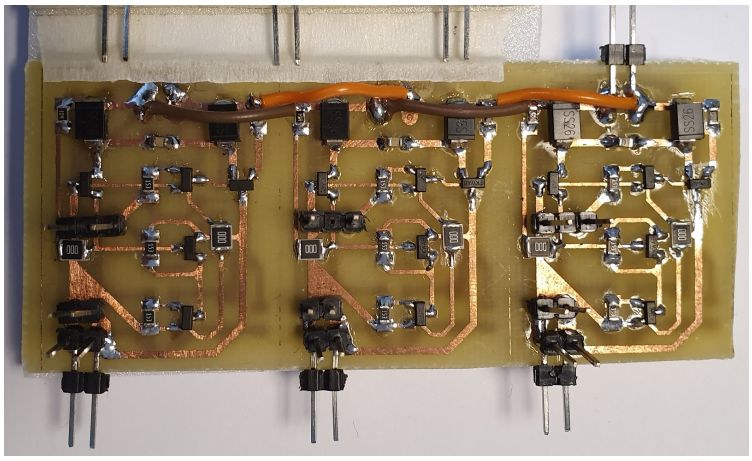
3.6.4 İkinci Şarj Birimi Prototip Üretimi

Tasarımı ve simülasyonu tamamlanan açma-kapama biriminin devre çizimi, Autodesk EAGLE çizim programı kullanılarak hazırlanmıştır. Şekil 3.24'de verilen şematik çizim referans alınmış ve tamamlanan devre tasarımı Şekil 3.26'da gösterilmiştir.



Şekil 3.26 İkinci şarj birimi devre çizimi

Test yapılması için çizilen bu devreden üç adet hazırlanmış ve simülasyonlarda yapılan testler prototip devre üzerinde uygulanmıştır. Hazırlanan prototip yapı Şekil 3.27'de gösterilmiştir.



Şekil 3.27 İkinci şarj birimi prototip üretimi

3.6.5 Batarya Şarj Birimleri Karşılaştırması

İkinci şarj birimi, daha az güç kaybı olmasından dolayı birinci şarj birimine göre daha yüksek enerji verimliliğine sahiptir. Diyotların düşük ileri gerilim değerine sahip olması, düşük R_{DSon} direncine sahip transistörlerin kullanılması ve röle elemanı olmaması sonucunda yapı üzerinde harcanan enerji kaybı azaltılmıştır. Enerji tasarrufuna ek olarak, ikinci şarj birimi farklı kontrol yapıları ve kontrol algoritmaları ile çalışabilmektedir.

Birinci şarj birimi için uygun olan gerilim değeri aralığı 5 V - 6 V değer aralığı ile sınırlı iken ikinci şarj birimi 4.5 V ile 9 V değer aralığında gerilim girişine izin vermektedir. Gerilim değer aralığının artması, birinci şarj birimine göre ikinci şarj biriminin şarj akımı değerinin arttırılmasını sağlamıştır. Kullanılan devre elemanlarından dolayı 500 mA ile sınırlı olan şarj akımı, ikinci batarya biriminde 2 A seviyesine çıkarılmıştır. Transistörlere göre daha kısa kullanım ömrüne sahip olan röle elemanı birinci şarj biriminin de kullanım ömrünü belirlemektedir. Bu sebeple ikinci şarj birimi daha uzun kullanım ömrüne sahiptir.

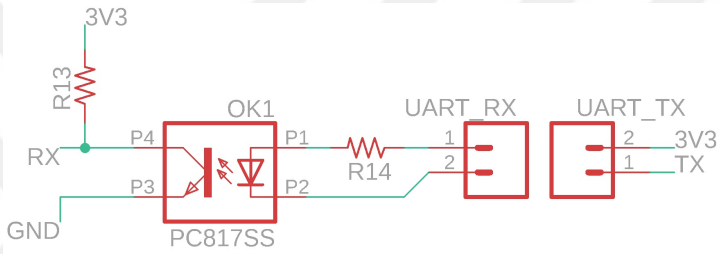
DG-BYS devre tasarımı yapılırken, röle elemanı kullanılmaması PCB devre tasarımı yapılırken boyutların azaltılmasını sağlamıştır. İki şarj birimine ait karşılaştırma tablosu Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7 Şarj birimleri karşılaştırma tablosu

Farklar	Birinci şarj birimi	İkinci şarj birimi
Şarj gerilim aralığı	5 V - 6 V	4.5 V - 9 V
En yüksek şarj akımı	500 mA	2 A
Kontrol yöntemi	Aç-Kapa	Aç-Kapa / DGM
DGM frekansı	-	200 Hz
DG-BYS PCB boyutu	36x80 mm^2	22x88 mm^2

3.7 İzole Haberleşme Birimi

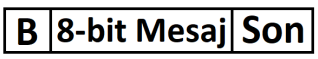
Kontrol birimleri birbirleri ile ve kullanıcı ile haberleşme sağlamak için "Genel Asenkron Alıcı Verici (UART)" seri haberleşme protokolünü kullanmaktadır. Seri haberleşme protokolü, kontrol birimleri içerisinde kullanılan mikrodenetleyiciler tarafından donanımsal olarak desteklenmektedir. UART birimi gelen mesajları çözebilmek için ortak referans noktasına ihtiyaç duymaktadır. Tasarlanan DG-BYS'ler birbiri ile bağlanırken, ortak bir referans seviyeleri bulunmamakta, herhangi iki modülün toprak sinyalleri birbirine bağlanması durumda bataryalar kısa devre olmaktadır. Bu sebeple, haberleşmenin gerçekleştirilebilmesi için optik bir anahtarlama elemanı olan optokuplör temelli bir izole haberleşme birimi tasarlanmıştır. Her bir modül için, bu birim alıcı sinyal hattı önüne yerleştirilmiştir. İzole haberleşme birimine ait şematik çizimi Şekil 3.28'de verilmiştir.



Şekil 3.28 İzole haberleşme birimi şematik çizimi

TX sinyali seri haberleşmede verici işlevini sağlayan, RX sinyali de seri haberleşmede alıcı işlevini sağlayan mikrodenetleyici pinlerine bağlanmıştır. Seri haberleşme biriminin çalışma protokolünden dolayı, RX sinyalinin haberleşme yapılmadığı zamanlar lojik-1 seviyesinde tutulması gerekmektedir. Bunu sağlamak için RX sinyali şematik çizimde bulunan R13 direnci ile 3.3 V seviyesine çekilmiştir. Kullanılan optokuplör, ışık ile iletime geçirilebilen bir transistör içermektedir. Transistör iletime geçirildiğinde, RX sinyali GND seviyesine çekilerek lojik-0 seviyesinde tutulmaktadır. R14 direnci, optokuplör içerisinde bulunan ledin üzerinden geçen akımı sınırlayarak kullanım sırasında hasar görmesini engellemektedir. Başka bir modülden gelen TX sinyali ile kontrolü sağlanan bu optokuplör, RX sinyali ile diğer modülden gelen TX sinyalinin optik izolasyon kullanılarak çalıştırılmasını sağlamaktadır.

Haberleşme yapılırken, senkronizasyonu sağlayan bir saat sinyali bulunmamaktadır. Bu sebeple, iletilen her mesaj başlangıç ve bitiş bitlerine sahiptir. Bu çalışmada kullanılan mesaj paketi Şekil 3.29'da gösterilmiştir.



Şekil 3.29 Seri haberleşme mesaj paketi

Haberleşme için kullanılan her mesaj paketi başlangıç (B) ve bitiş (Son) bitlerine sahiptir. Her paket 8 bitlik mesajı iletmektedir. Bu şekilde kurulan paketin toplam uzunluğu 10 bit olmaktadır. Her bir baytı iletmek için toplamda 10 bitlik bir data yollanmaktadır. Haberleşmenin hızını saniyede yollanan bit sayısı belirlemektedir. Kullanılan izole haberleşme biriminin gerekli hızı desteklemesi gerekmektedir. Seri haberleşme hızını belirtmek için "Veri hızı" kavramı kullanılmaktadır. Veri hızı, saniyede iletilen bit sayısını temsil etmektedir. Bir bit veriyi iletmek için gerekli olan süre Formül 3.3 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$T_{Bit} = 1/VERIHIZI \tag{3.3}$$

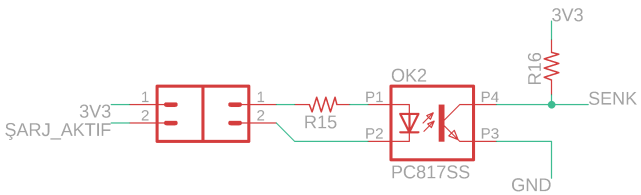
Haberleşme hızı 9600 bit/sn olan seri haberleşme için bir bitin iletim süresi Formül 3.4 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$1/9600 = 104,16uS \tag{3.4}$$

Bu değer, iki bit arasında lojik değişim süresini de göstermektedir. Kullanılan optokuplörün belirlenen süre içerisinde lojik değişimi sağlayabilmesi gerekmektedir. Bu hızı sağlayabilen "PC817" model kodlu optokuplör kullanılmıştır.

3.8 Senkronizasyon Sinyali İzolasyon Birimi

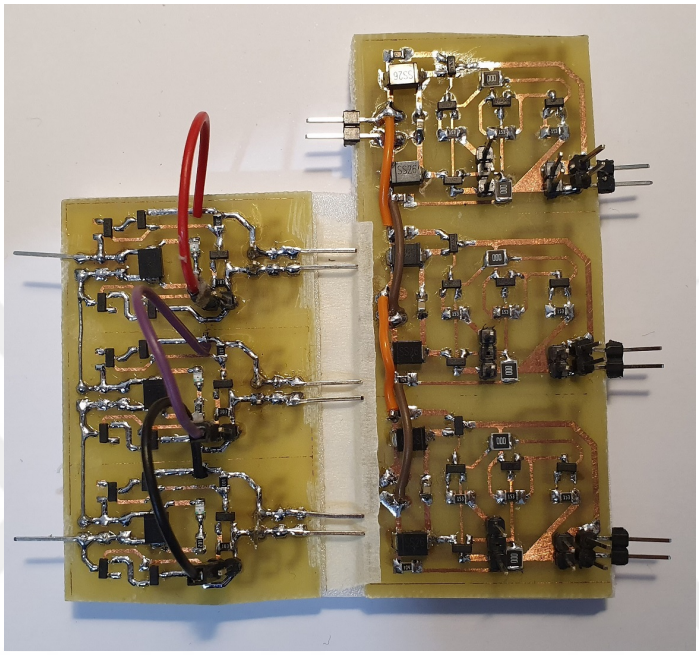
Şarj birimlerinin diğer modüllerdeki şarj birimleri ile senkronize bir şekilde çalışması gerekmekte, batarya şarj işlemi seri bağlı bataryalarda aynı anda yapılmamalıdır. Şarj işleminin sıralı bir şekilde yapılması için modüller arasında senkronizasyon sinyaline ihtiyaç duyulmaktadır. Haberleşme birimi gibi bu sinyalin de izole bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Bunu sağlamak için haberleşme biriminde kullanılan PC817 optokuplörü kullanılarak "İzole Senkronizasyon Sinyali" sağlanmıştır. Tasarlanan senkronizasyon sinyali izolasyon devresi şematik çizimi Şekil 3.30'da verilmiştir. "Şarj_Aktif" sinyali ile ikinci şarj biriminin kontrolünü sağlamak için kullanılan sinyal kontrol birimi tarafından üretilen DGM sinyalini ortak olarak kullanmaktadır.



Şekil 3.30 Senkronizasyon sinyali izolasyon birimi - Şematik çizimi

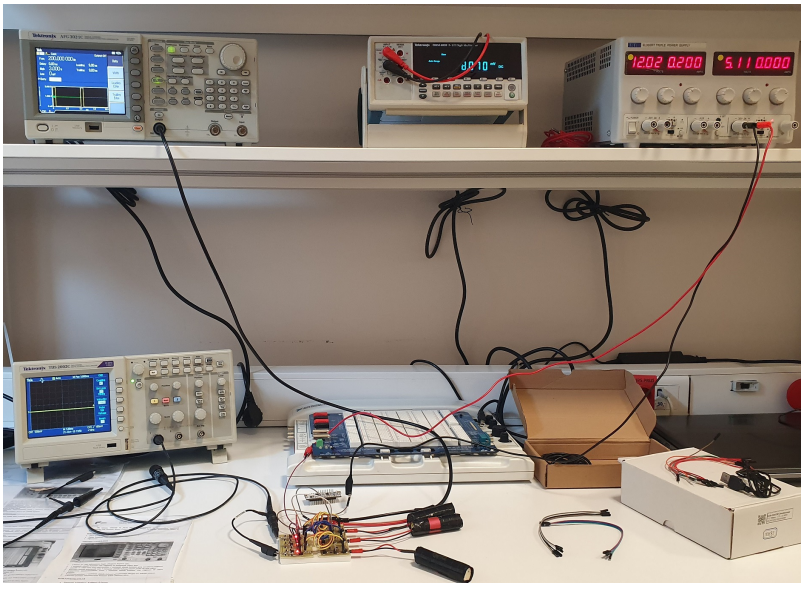
3.9 DG-BYS Modülü

Modülü oluşturan birimlerin testleri tamamlanmış ve modül tasarımının yapılması için birlikte çalışabildikleri simülasyonda görülmüştür. Simülasyonu gerçekleştirilen açma-kapama ve şarj birimlerine ait prototipler birlikte test edilmiş ve simülasyonda görülen sonuçlar doğrulanmıştır. Birleştirilen prototip birimleri Şekil 3.31'de gösterilmiştir.



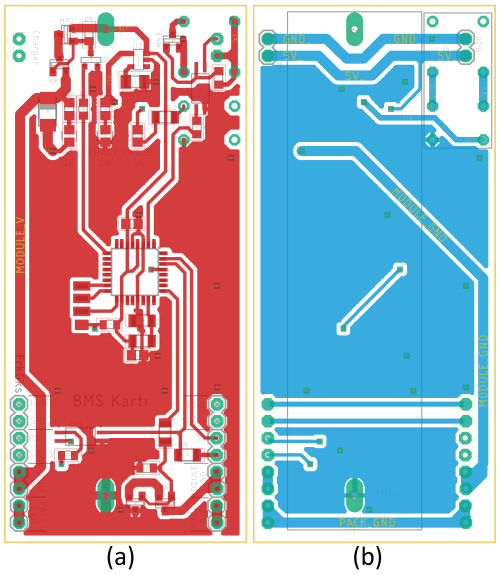
Şekil 3.31 Birleştirilmiş açma-kapama ve şarj birimleri

Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen test düzeneğini gösteren görüntü Şekil 3.32'de gösterilmiştir.



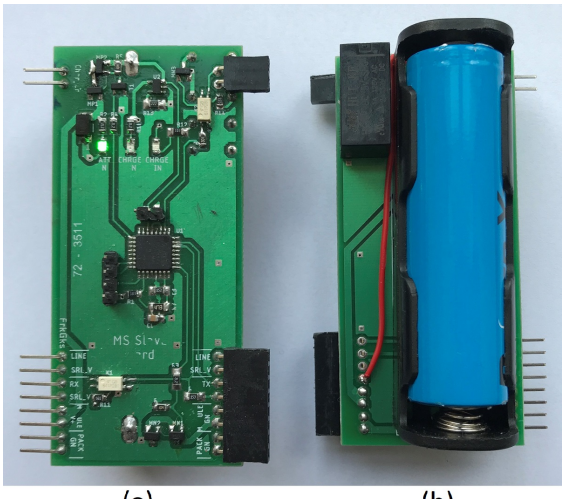
Şekil 3.32 Açma-kapama ve şarj birimleri laboratuvar testi

Yapılan testler sonrasında modüller için baskı devre kartları tasarlanmıştır. Tasarımlar EAGLE devre çizimi programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 2 katlı olarak tasarlanan devre kartı, bataryanın üzerinde takılabileceği ve genişletilebilir yapıya uygun olacak şekilde hazırlanmıştır. Üretilen kart boyutları 36 mm genişliğinde ve 80 mm uzunluğundadır. Birinci tasarıma ait devre çizimi Şekil 3.33'de gösterilmiştir.



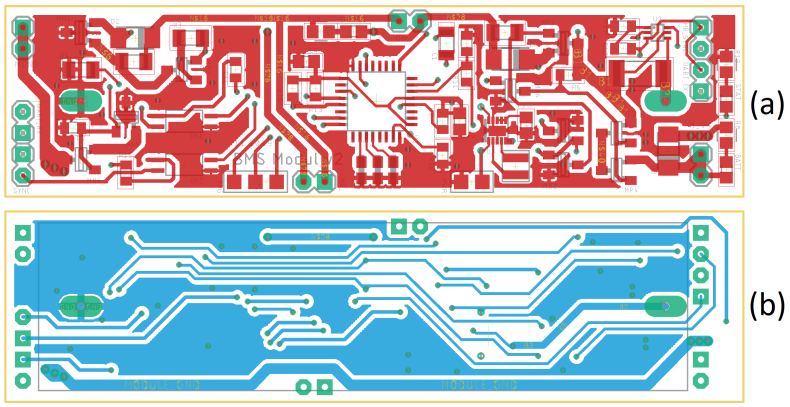
Şekil 3.33 DG-BYS modülü baskı devre kartı çizimi - Birinci tasarım (a) Ön yüz (b) Arka yüz

18650 boyutunda Li-İon bataryalar için tasarlanan kart üzerinde açma-kapama, şarj , akım ölçüm ve izole haberleşme birimleri bulunmaktadır. Kartlar, modüllerin yanyana bağlanarak sistemin genişletilebilmesi için tasarlanmıştır. Şarj hatları ortak olan modüller, birbiri ile bağlandığında batarya paketini oluşturmaktadır. Kart üretimi gerçekleştirilmiş prototip Şekil 3.34'de verilmiştir.



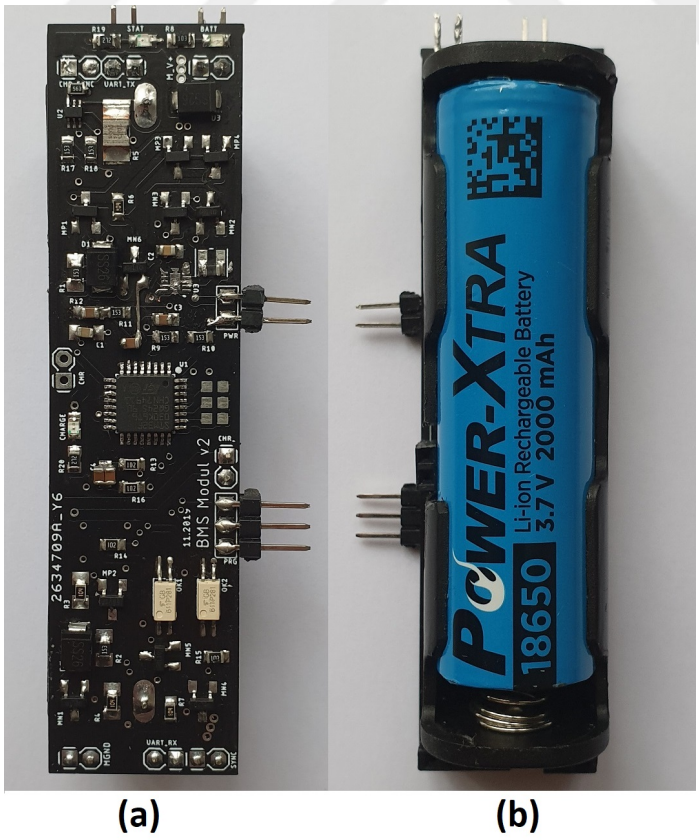
Şekil 3.34 DG-BYS modülü prototipi - Birinci tasarım (a) Ön yüz (b) Arka yüz

DG-BYS modülünün boyutlarının küçültülmesi ve geliştirilen ikinci şarj biriminin kullanılabilmesi için ikinci bir kart tasarımı gerçekleştirilmiştir. İkinci kart tasarımı boyutları 23 mm genişliğe ve 88 mm uzunluğa sahiptir. 18650 boyutlarına sahip Li-İon tipi bataryalar bu tasarımda da kullanılmaktadır. İkinci tasarıma ait devre çizimi Şekil 3.35'de verilmiştir.



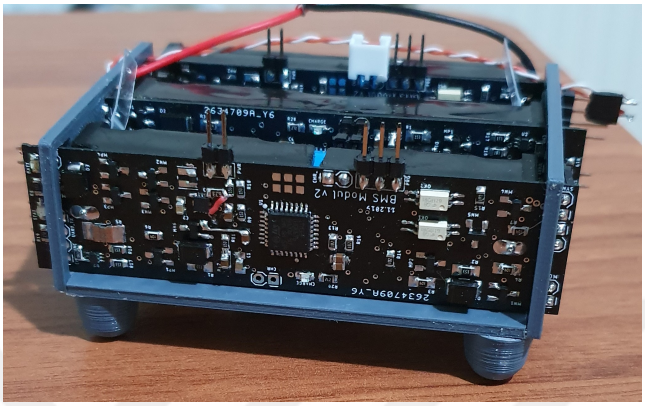
Şekil 3.35 DG-BYS modülü baskı devre kartı çizimi - İkinci tasarım (a) Ön yüz (b) Arka yüz

Kart üretimi gerçekleştirilmiş prototip Şekil 3.36'da verilmiştir.



Şekil 3.36 DG-BYS modülü prototipi - İkinci tasarım (a) Ön yüz (b) Arka yüz

Yeni tasarlanan kart, yenilenmiş şarj birimine sahiptir. İkinci tasarıma sahip kartlar modüllerin üst üste bağlanmasına izin vermektedir. Tasarımlar bataryaları üzerinde taşıyabileceği gibi, bataryalar ara kablo ile de bağlanabilmektedir. Bunun sayesinde DG-BYS modüllerinden hazırlanan batarya grupları daha az yer kaplamakta ve kullanım yerine göre daha uygun yapılandırmalar hazırlanabilmektedir. DG-BYS modülleri ile oluşturulan üç hücreli batarya paketi Şekil 3.37'de gösterilmiştir.



Şekil 3.37 DG-BYS modülü prototipi - İkinci tasarım batarya paketi

4
DÜŞÜK GERİLİMLİ BYS YAZILIMI

Bu bölümde, DG-BYS modülleri için tasarlanan donanım birimlerinin çalışmasını ve yönetilmesini sağlayan yazılım çalışmaları ve bunların uygulanması anlatılmaktadır.

Yazılım çalışmaları, kontrol birimlerinin beyni olarak kullanılan mikrodenetleyicileri programlayabileceğimiz özel geliştirme ortamları üzerinde gerçekleştirilmiştir.

DG-BYS modülünün kontrolü için iki adet kontrol birimi tasarlanmış ve birinci kontrol biriminde mikrodenetleyici olarak "Atmel" firmasının üretmiş olduğu "Atmega128" kodlu mikrodenetleyicisi, ikinci kontrol biriminde "ST Microelectronics" firmasının üretmiş olduğu "STM32F030" kodlu mikrodenetleyicisi kullanılmıştır.

Atmega128 mikrodenetleyicisini programlamak için "Atmel Studio 7.0" tümleşik programlama ortamı (TPO) kullanılmıştır. C programlama dili kullanılan bu TPO, ücretsiz olarak sunulmakta ve Atmel firmasının üretmiş olduğu 8-bit ve 32-bit veriyoluna sahip mikrodenetleyicileri desteklemektedir. Program geliştirme esnasında hata ayıklama yapmaya izin veren bu TPO ile, geliştirilen yazılımın çalışması adım adım izlenebilmekte ve koddaki hatalar incelenebilmektedir.

STM32F030 mikrodenetleyicisini programlamak için "Keil v5" TPO'su kullanılmıştır. Ticari olarak geniş bir kullanım oranına sahip olan bu TPO'nun 32 KB program boyut sınırlı sürümü ücretsiz olarak kullanılabilmektedir. 32-bit ARM mimarisine sahip tüm mikrodenetleyicileri destekleyen bu TPO, kendi içinde hata ayıklama moduna ve mikrodenetleyici programlama desteğine sahiptir.

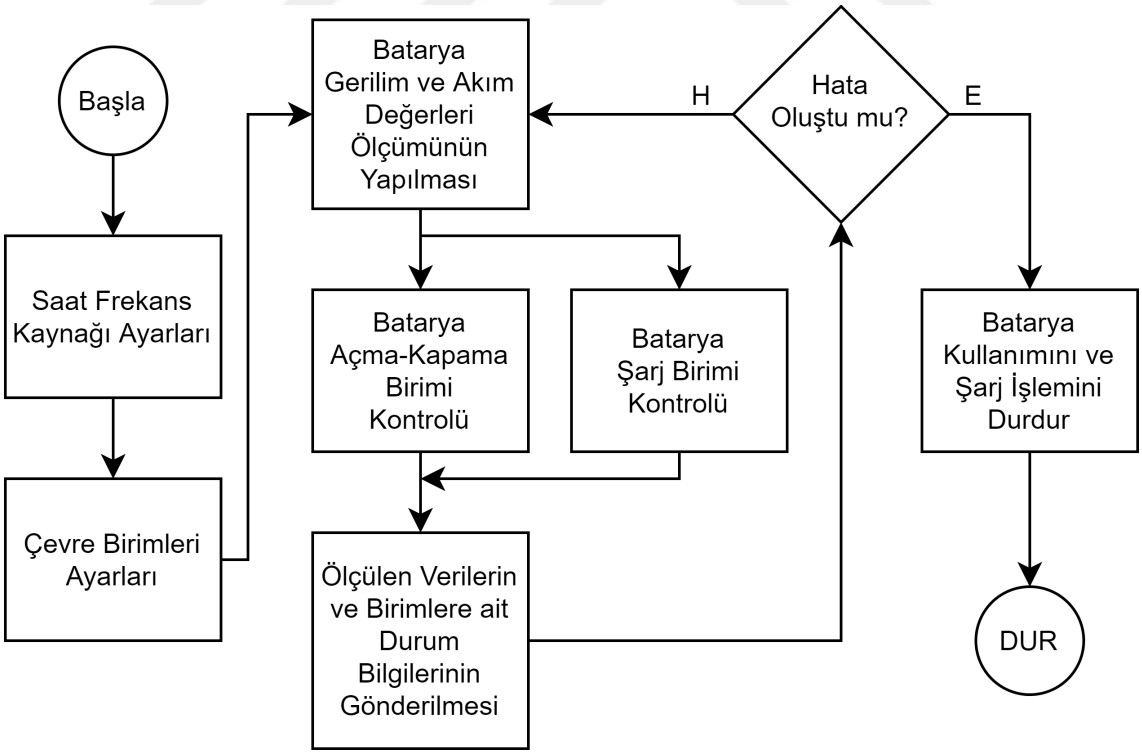
Atmel Studio 7.0 TPO'suna göre daha gelişmiş bir hata ayıklama moduna sahip olan Keil v5 TPO'su ile, mikrodenetleyici içerisinde bulunan tüm çevre birimleri kullanım esnasında detaylı olarak incelenebilmekte ve çalışmaları kontrol edilebilmektedir. Her iki yazılım da üreticilerinin internet sayfalarından temin edilebilmektedir.

4.1 Genel Kontrol Algoritması

DG-BYS modülünün kullanıma hazır hale gelmesi için ilk çalıştırma sırasında başlangıç ayarları yapılması gerekmektedir: mikrodenetleyici saat frekansı ayarı, giriş-çıkış pinleri ayarı, zamanlayıcı birimi ayarı, haberleşme birimi ayarı. Mikrodenetleyici saat frekansı ile batarya ve şarj kontrolünü sağlayan ve haberleşme birimi için kullanılacak olan pinler donanımsal olarak ayarlanmıştır. Yazılım içerisinde zamanlama işlemleri için ve şarj kontrolü sırasında kullanılacak olan DGM sinyali için sayıcı birimleri ayarlanmıştır. Bu ayarların detayları ve nasıl yapıldığı alt başlıklarda verilecektir.

Başlangıç ayarları yapıldıktan sonra bataryaların gözlem ve kontrolü ile batarya şarj işlemini gerçekleştirmesi için hazırlanan alt yazılımlar çalıştırılmaktadır. Batarya gözlemi için batarya voltaj ve akım değerlerini dijital veriye çeviren analog sinyal ölçüm alt yazılımı hazırlanmıştır. Batarya kontrolü için eşik kontrol yöntemi ve bulanık mantık kontrol yöntemi kullanılmış, bu yöntemler için alt yazılımlar hazırlanmıştır. Batarya şarj kontrolü için lojik şarj kontrolü ve DGM şarj kontrolü kullanılmış, bu kontroller için de alt yazılımlar hazırlanmıştır. Alt yazılımlara ait detaylar alt başlıklarda verilmiştir.

Genel kontrol algoritmasına ait akış diyagramı Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1 Genel kontrol algoritması akış diyagramı

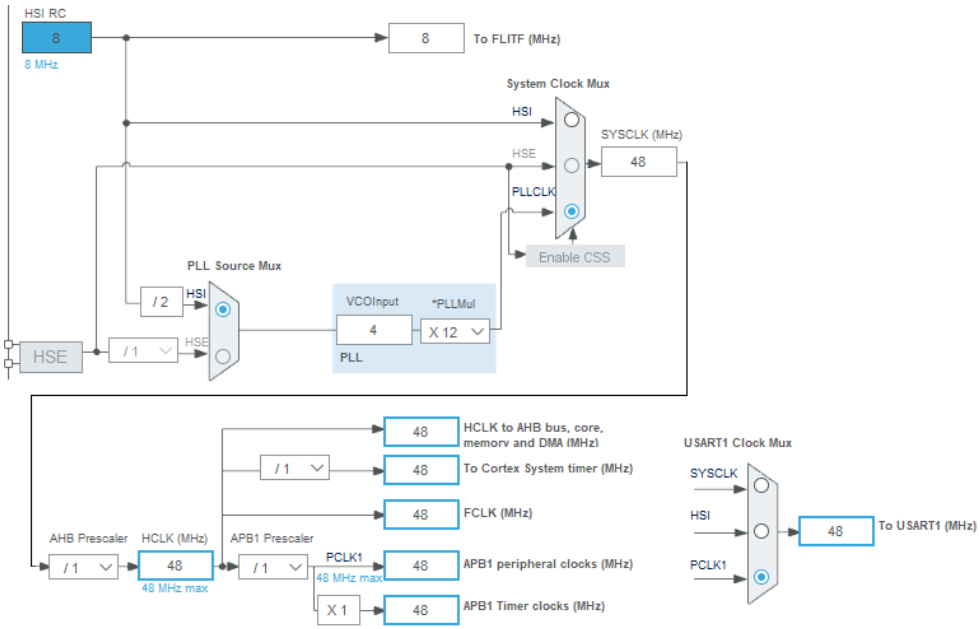
4.2 Sistem Başlangıç Ayarları

Atmega328 ve STM32F030 mikrodenetleyicileri, tasarımı yapılan donanım birimlerini aynı şekilde kontrol etmektedir. Bu sebeple, ilk çalıştırma için gerekli olan değişken tanımlamaları, zamanlama ayarları ve çevre birimi ayarlamaları aynı özelliklere sahip olmaktadır. Geliştirilen donanım birimlerinin daha hızlı, daha kolay ve hassas kontrol edilebilen bir mikrodenetleyici ile çalıştırılması istendiğinden, ikinci kontrol biriminde STM32F030 mikrodenetleyicisine geçiş yapılmıştır.

Her iki kontrol biriminde de çalıştırılan yazılım algoritmaları ve akış diyagramları aynı olmasından dolayı, donanım ayarlamaları STM32F030 mikrodenetleyicisine göre anlatılmıştır. Başlangıç ayarları STM firması tarafından hazırlanmış olan "CubeMX" isimli program ile yapılmıştır. Bu program, STM32 serisi mikrodenetleyiciler için görsel bir arayüz sunmaktadır. Bu arayüz üzerinden kullanılması istenen çevre birimleri ve bu birimlerin ayarları seçilerek gerekli başlangıç kodları otomatik olarak oluşturulmaktadır. STM32 serisi mikrodenetleyicilerin ARM mimarisi içeren bir mikroişlemci çekirdeğine sahip olmasından dolayı, böyle bir programın kullanılması yazılım geliştirme sırasında zamandan kazanç ve kolaylık sağlamaktadır.

4.2.1 Saat Frekans Ayarları

STM32F030 mikrodenetleyicisi üzerinde dahili olarak 8 MHz çalışma frekansına sahip saat kristali bulunmaktadır. Sistem çalışması için bu dahili saat kristali kullanılmıştır. Şekil 4.2'de verilmiş olan blok yapı, bu saat kristalinin bağlı olduğu çarpıcı ve bölücü yapılarını ve hangi birimler tarafından kullanıldığını göstermektedir.

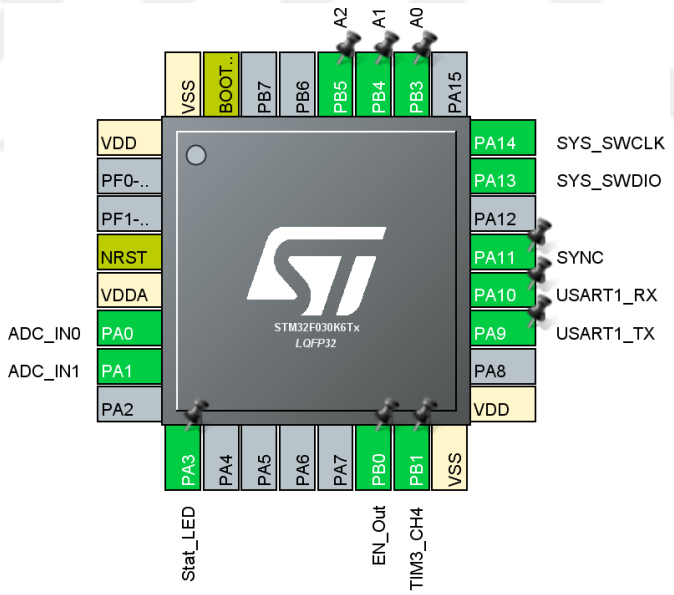


Şekil 4.2 STM32F030 saat frekans ayarı

Dahili saat kristalinden gelen 8 MHz saat sinyali, ikiye bölünerek "Faz Kilitlemeli Çevrim (PLL)" yapısına iletilmektedir. Burada 12 ile çarpılan sinyal 48 MHz değerine yükseltilerek mikrodenetleyici ana saat frekansı olarak kullanılmaktadır. Bu saat frekansı, mikrodenetleyici üzerinde bulunan diğer çevre birimleri tarafından da herhangi bir çarpma ya da bölme işlemi uygulanmadan kullanılmaktadır.

4.2.2 Dijital Giriş-Çıkış Pinleri

Mikrodenetleyicinin tasarlanan DG-BYS modülünü kontrol etmesi için 11 adet giriş-çıkış pinine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu pinlerden iki tanesi gerilim ve akım ölçümü için analog giriş olarak kullanılmıştır. Üç tanesi modül adreslemesini yapabilmek için, bir tanesi diğer modüller ile şarj senkronizasyonunu sağlamak için, bir tanesi de seri haberleşmede alıcı hattı için olmak üzere beş adet dijital giriş olarak kullanılmıştır. Durum ledinin kontrolü, bataryayı açma-kapama işlemi, şarj birimi kontrolü ve seri haberleşmede verici hattı için dört adet pin dijital çıkış olarak kullanılmıştır. İki adet pin, mikrodenetleyiciyi programlamak ve hata ayıklama için kullanılmıştır. Pin haritası Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3 STM32F030 giriş-çıkış pin haritası

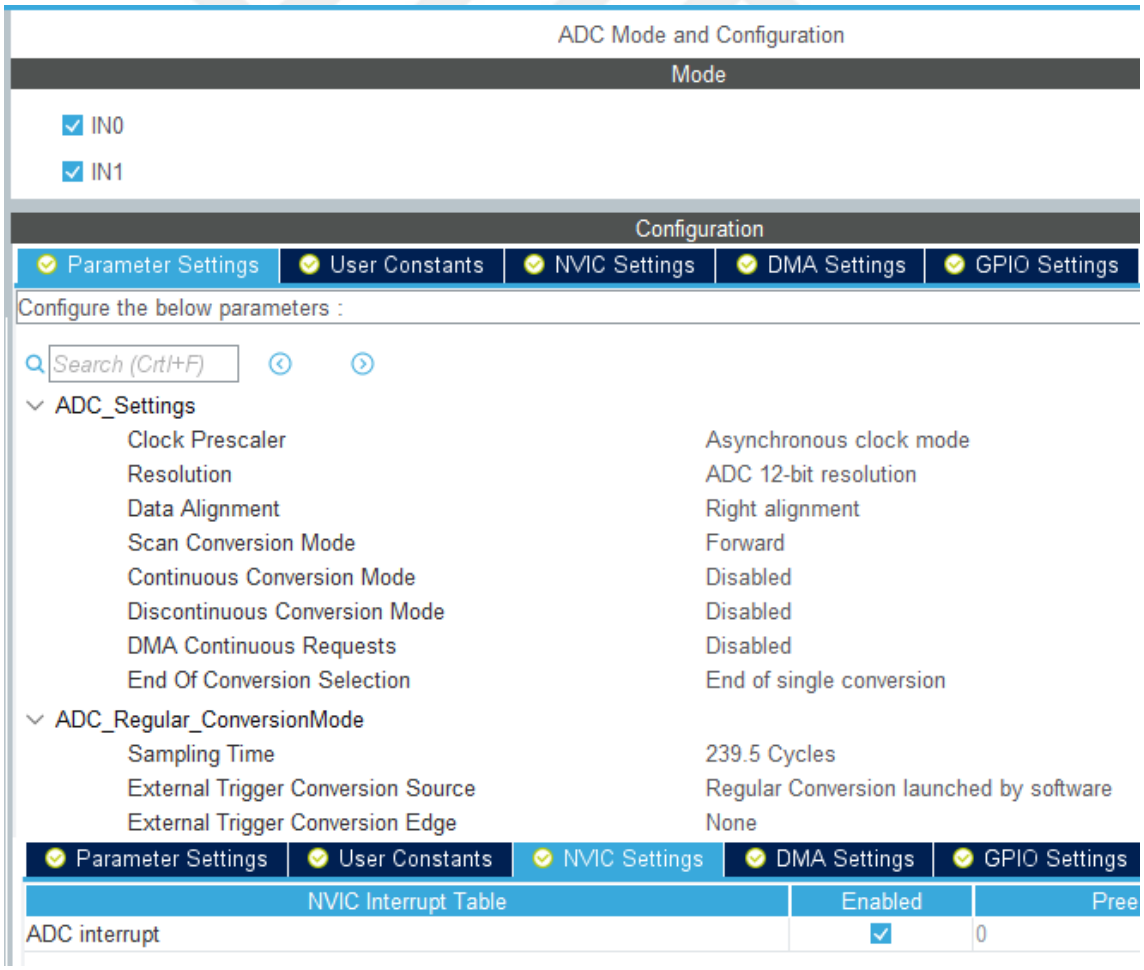
Şekil 4.4'de kullanılan pinlerin ayarlamaları verilmiştir. Giriş olarak kullanılan pinler yazılım üzerinde iç dirençleri aktif edilmiştir. Bu şekilde, harici dirençlerin bağlanmasına gerek olmamaktadır. Şarj senkronizasyonunun gecikme yaşanmadan sağlanabilmesi için, senkronizasyon için kullanılan giriş pininin harici kesme özelliği aktif edilmiştir. Senkronizasyon sinyalinin düşen kenarı yazılım için tetikleyici görevi görmesinden dolayı harici kesme düşen kenarda tetiklenecek şekilde ayarlanmıştır.

Pin Name	Signal on Pin	GPIO ...	GPIO mode	GPIO Pull-...	Maximum...	Fast Mode	User Label
PA3	n/a	Low	Output Push Pull	No pull-up ...	Low	n/a	Stat_LED
PA11	n/a	n/a	External Interrupt ...	No pull-up ...	n/a	n/a	SYNC
PB0	n/a	Low	Output Push Pull	No pull-up ...	Low	n/a	EN_Out
PB3	n/a	n/a	Input mode	Pull-up	n/a	n/a	A0
PB4	n/a	n/a	Input mode	Pull-up	n/a	n/a	A1
PB5	n/a	n/a	Input mode	Pull-up	n/a	n/a	A2

Şekil 4.4 STM32F030 giriş-çıkış pin ayarlamaları

4.2.3 Analog-Dijital Çevirici

ADÇ birimi, 12-bit çözünürlükte çevirme işlemi yapacak şekilde ayarlanmıştır. Mikrodenetleyicinin sürekli olarak ADÇ birimini çalıştırması yerine, istenilen zaman döngüsü içerisinde çalıştırılması için ADÇ biriminin sürekli çevrim özelliği kapatılmış ve yazılım üzerinde ne zaman çevrim yapılacağı belirtilmiştir. Bu birimin özelliğinden dolayı, çevrim yazılım ile başlatıldığında iki kanal sırası ile çevrilmektedir. Çevrim sona erdiğinde, ADÇ birimine ait kesme fonksiyonuna girerek yazılım üzerinde gerekli işlemler yapılmaktadır. ADÇ birimine ait ayar sayfası Şekil 4.5'te görülmektedir.



Şekil 4.5 STM32F030 ADÇ birimi ayarları

4.2.4 Kare Dalga Üreteci

Şarj biriminin kontrolü kare dalga sinyal ile kontrol edilmektedir. Kare dalga sinyali, zamanlayıcı birimi tarafından donanımsal olarak üretebilmektedir. Kare dalga sinyali oluşturmak için iki önemli değişken bulunmaktadır. Bu değişkenler kare dalganın frekansı ve doluluk oranıdır. Frekans değeri, saniyede kaç adet kare dalga oluşturulacağını belirtmektedir. Doluluk oranı ise kare dalganın bir periyot süresi içinde, hangi oranda lojik-1 ve hangi oranda lojik-0 durumunda kalacağını belirtmektedir.

Mikrodenetleyici zamanlayıcı biriminin kare dalga üretebilmesi için dört değere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu değerler kare dalga frekansı, saat frekansı, bölücü değeri ve sayım değeridir.

- Kare dalga frekansı : Üretilecek kare dalga sinyalin frekansını belirtmektedir.
- Saat frekansı : Zamanlayıcı birimini çalıştıran saat frekans değeridir.
- Bölücü değeri : Zamanlayıcı biriminin kullanacağı saat frekansını bölmek için kullanılmaktadır. STM32 programında bu değer "PSC" olarak kullanılmaktadır.
- Sayım değeri : Zamanlayıcı biriminin sayım sınırını belirlemektedir. Bu sınıra kadar sayıldıktan sonra başa dönmektedir. STM32 programında bu değer "CNT" olarak kullanılmaktadır.

Kare dalga sinyalin frekansını hesaplamak için Formül 4.1 kullanılmaktadır. PSC değeri kaynak olarak kullanılan saat frekansının bölüm değerini göstermektedir. CNT değeri sayım miktarını göstermektedir.

$$f_{KareDalga} = f_{Saat}/(PSC * CNT) \tag{4.1}$$

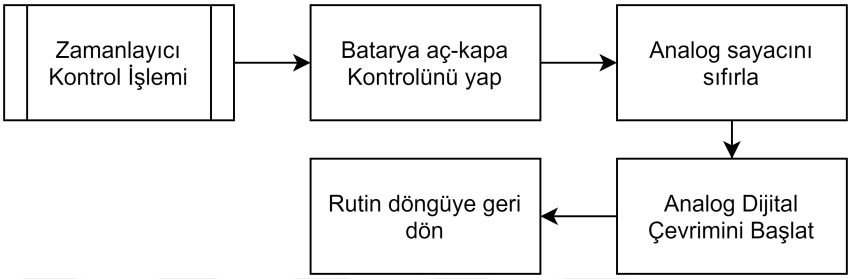
Şarj birimini kontrol etmek için kullanılan kare dalga sinyalin frekansı 200 Hz olarak belirlenmiştir. Kare dalganın hassas kontrolü sağlanması için sayım değeri 4000 olarak belirlenmiştir. Mikrodenetleyici saat frekansı 48 MHz olarak seçilmiştir. Bu değerler Formül 4.1'de yerine konulduğunda bölüm değeri 24 olarak hesaplanmaktadır.

4.2.5 Zamanlayıcı Birimleri

Kare dalga üretmek ve kontrol işlemlerini sabit zaman aralıklarında gerçekleştirmek için iki adet zamanlayıcı birimi kullanılmıştır. Bu birimlerden biri 200 Hz, diğeri 10 Hz

frekans hızında çalışmaktadır. 200 Hz frekans hızında çalışan zamanlayıcı kare dalga üretici olarak kullanılmaktadır. 10 Hz frekans hızında çalışan zamanlayıcı kontrol işlemleri için kullanılmaktadır.

Kontrol işlemleri için kullanılan zamanlayıcı birimine ait kesme fonksiyonu akış diyagramı Şekil 4.6'da verilmiştir. Bu zamanlayıcı, bataryaların açma ve kapama işlemlerini kontrol eden fonksiyonları çalıştırmakta, analog sinyallerin dijitale çevrimini başlatmaktadır. Batarya açma kapama fonksiyonunun batarya şarj fonksiyonu ile beraber çalışmasından dolayı, zamanlayıcı frekansı şarj fonksiyonunun çalışmasını da etkilemektedir.



Şekil 4.6 Zamanlayıcı birimi kesme fonksiyonu akış diyagramı

4.2.6 Haberleşme Birimi

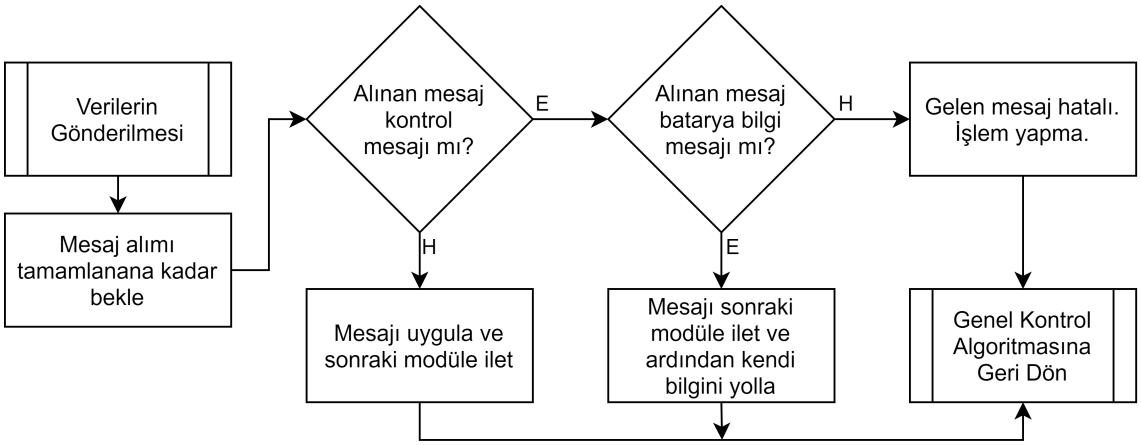
Seri haberleşme birimi, modüllerin diğer modüllerle ve kullanıcı ile haberleşmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada seri haberleşme mikrodenetleyici içerisinde bulunan UART çevre birimi tarafından sağlanmaktadır. Tablo 4.1, kulanılan seri haberleşme biriminin özelliklerini göstermektedir.

Tablo 4.1 Seri haberleşme birimi özellikleri

Özellikler	**Değeri**
Veri hızı	9600 bit/sn
Veri uzunluğu	8 bit
Teklik kontrolü	Yok
Dur biti sayısı	1 bit

Asenkron çalışan birimin çalışma hızı optokuplör elemanlarının çalışabilmesi için 9600 bit/sn olarak ayarlanmıştır. Veri uzunluğu 8 bit olarak seçilmiştir. Teklik kontrolü yapılmamış ve dur biti sayısı 1 olarak belirlenmiştir.

Modüllerin haberleşme birimleri birbirine halka topolojisi ile bağlanmıştır. Modüller kendinden önceki modülden mesaj beklemekte, gelen mesajları bir sonraki modüle ilettikten sonra kendi mesajlarını iletmektedir. Haberleşme algoritması akış diyagramı Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7 Haberleşme algoritması akış diyagramı

Modüllerin kontrolünü sağlayan ve batarya bilgisini içeren olmak üzere iki tip mesaj formatı oluşturulmuştur. Her mesaj başlangıç ve bitiş karakterinden oluşmakta, böylece modüller mesajları çözümleyebilmektedir. Başlangıç karakterindne sonra gelen bir sonraki karakter, mesajın kontrol mesajı mı yoksa başka bir modülün batarya bilgisi mesajı mı olduğunu göstermektedir. Eğer gelen karakter "*s*" ise bu mesajın kontrol mesajı olduğunu, gelen karakter bir sayı ise bu mesaj da kaçıncı modüle ait batarya bilgisi olduğunu göstermektedir.

Örnek kontrol mesajı: *<s0>*

Örnek mesaj incelendiğinde, "<" ve ">" karakterleri mesajın başlangıç ve bitişini göstermektedir. Sonradan gelen "s" karakteri bunun kontrol mesajı olduğunu, sonrasında ise bitiş karakterine kadar olan kısım kontrol işlemleri için gerekli kodları belirtmektedir.

Örnek modül mesajı: *<23750>*

İkinci örnek mesaj, 2 numaralı modülde bulunan bataryanın gerilim bilgisini göstermektedir. Bu mesajda okunan gerilim değeri 3750 mV'dur.

Modül numaralandırması birinci kontrol biriminde otomatik olarak yapılmaktadır. Otomatik numaralandırma sistemi, modüllerin ilk açılışı sırasında yapıldığından, modüllerin bataryaların bitmesinden kaynaklı kapanma durumlarında bu numaralama sisteminde sorunlar yaşanmaktadır. Bu sorunları engellemek için ikinci kontrol biriminde devre üzerinde bulunan adresleme uçları kullanılarak numaralandırma elle yapılmaktadır.

4.2.7 Analog Ölçüm Kalibrasyonu

Ölçüm birimlerinin tasarımlarında kullanılan devre elemanları modüller üzerinde ufak ölçüm hatalarına ve farklılıklara sebep olmaktadır. Bu farklılıkları ortadan kaldırmak için, modüller içerisinde kalibrasyon değerleri kullanılmaktadır. Bu değerler, her modülün aynı gerilim seviyesini aynı dijital değere çevirmesini sağlamaktadır. Ölçüm yapılan değer ile bu kalibrasyon değerleri çarpılarak dijital veri gerçek değerin sayısal karşılığına dönüştürülmektedir. Modüller için belirlenen kalibrasyon değerleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

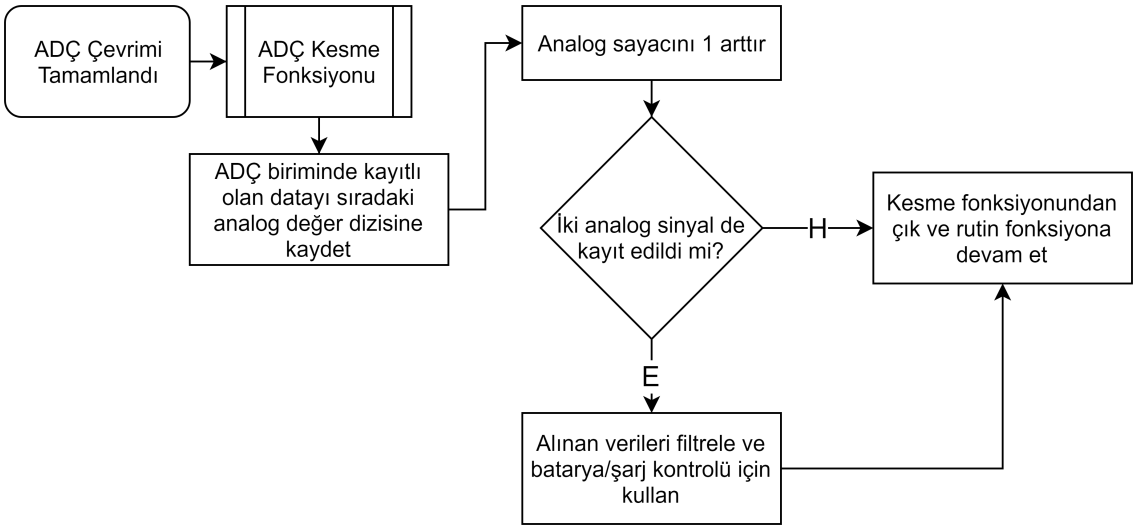
Tablo 4.2 Analog ölçüm kalibrasyon değerleri

	Modül 1	**Modül 2**	**Modül 3**	**Modül 4**
Kalibrasyon değeri	166.5	166	166	165.8

4.3 Analog Sinyal Ölçümü

ADÇ birimi biri batarya gerilimi diğeri de batarya akımı olmak üzere iki analog sinyali dijitale çevirmektedir. Analog - dijital çevrimi zamanlayıcı birimi tarafından her 100 milisaniyede bir yazılımsal olarak başlatılmaktadır.

Çevrim tamamlandığı zaman ADÇ birimine ait kesme fonksiyonu çalıştırılmaktadır. Analog değer dizisinin 1. elemanına dijitalleştirilmiş batarya gerilim değeri, 2. elemanına da dijitalleştirilmiş batarya akım değeri kaydedilmektedir. Son 10 örneğin ortalaması alınarak sinyalde bulunan gürültü azaltılmıştır. Şekil 4.6'da ADÇ birimine ait kesme fonksiyonunun akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.8 ADÇ birimi kesme fonksiyonu akış diyagramı

ADÇ biriminden alınan verinin kullanılmadan önce işlenmesi gerekmektedir. Bu şekilde veri hem anlaşılır hale getirilmekte hem de analog referans gerilim hataları düzeltilmektedir.

4.3.1 Analog Referans Gerilim Düzeltmesi

Mikrodenetleyici güç hattı üzerindeki ufak dalgalanmalar, ADÇ referans gerilimine doğrudan etki etmesine rağmen dahili referans gerilim birimi sürekli 1.2 V değerini korumaktadır. Bu çalışmanın analog ölçümünde, bu referans gerilim birimi kullanılarak güç hattı dalgalanmalarından kaynaklı hatalar düzeltilmektedir.

Bunun için önce ADÇ birimi analog sinyaller ile birlikte referans gerilimini de dijital değere çevirir. Çevrilen referans geriliminin kesin değeri bilindiği için, Formül 4.2 kullanılarak bir birim ADÇ değerinin gerçekte kaç V'a eşit olduğu hesaplanır.

$$V_{birimADC} = V_{ref} / D_{Ref} \tag{4.2}$$

Burada, birim ADÇ değerinin hassasiyeti hesaplanmaktadır. $V_{birimADC}$ değeri okunan analog sinyalin gerilim karşılığını belirtmektedir. V_{ref} değeri 1.2 V'a eşittir ve mikrodenetleyici içerisinde donanımsal olarak üretilen sabit bir referans kaynağını belirtmektedir. D_{Ref} değeri çevrimi yapılan referans gerilim değerinin dijital karşılığını göstermektedir.

Bulunan birim gerilim değeri, okunan analog sinyallerin gerilim karşılığının bulunması için Formül 4.3'te kullanılmaktadır. D_{Okunan} değeri okunan analog sinyalin dijital karşılığı olmaktadır.

$$V_{Okunan} = V_{birimADC} * D_{Okunan} \tag{4.3}$$

Bu düzeltme sayesinde, güç hattında yaşanan dalgalanmalara rağmen, okunan değer doğru bir şekilde çevrilmekte ve sistemin düzgün çalışması garanti edilmektedir.

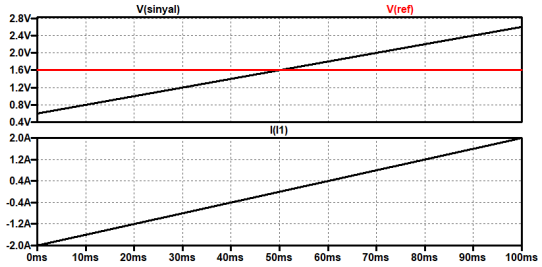
4.3.2 Gerilim ve Akım Verisinin İşlenmesi

Analog referans gerilim düzeltmesi uygulanan sinyaller, batarya gerilim ve akım değerlerine Formül 4.4 kullanılarak çevrilmektedir.

$$V_{Bat} = V_{Bat_Okunan} * D_{V_Kal} \tag{4.4}$$

V_{Bat} batarya gerilimini, V_{Bat_Okunan} bataryanın okunan analog sinyalini, D_{V_Kal} değeri ise batarya gerçek gerilim değerini bulmak için kullanılan gerilim kalibrasyon değeridir.

Akım ölçümü için kullanılan akım sensörü, çift yönlü çalışmaktadır. Akım sensörüne ait akım-çıkış grafiği Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9 Akım sensörü akım-çıkış grafiği

Analog akım değerinin sistem için anlaşılır bir değere çevrilmesi için, öncelikle bataryadan geçen akımın sıfır olduğu analog sinyal değeri kaydedilmiştir. Okunan değerlerden bu sıfır değeri çıkartılmış ve akım kalibrasyon değeri ile çarpılarak batarya akımı elde edilmiştir. Akım değeri Formül 4.5 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$I_{Bat} = (I_{Bat_Okunan} - I_{Bat_0}) * D_{I_Kal} \tag{4.5}$$

I_{Bat} değeri sistem kullanımına hazır akım değerini, I_{Bat_Okunan} değeri dijitale çevrilen analog sinyal değerini, I_{Bat_0} değeri sıfır akım değerini ve D_{I_Kal} değeri de batarya gerçek akım değerini bulmak için kullanılan akım kalibrasyon değeridir.

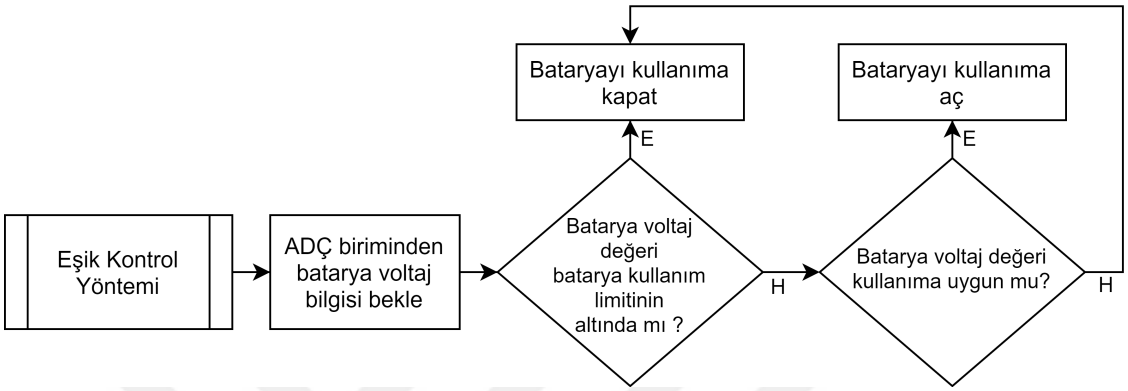
4.4 Batarya Kontrolü

Batarya kontrolü yazılımı, bu çalışmada gerçekleştirilen özel yapılardan biridir. Batarya kontrolü bataryaların güç hattına hangi şartlarda dahil edileceğine ve hangi şartlarda bu güç hattından izole edileceğine karar vermek için kullanılmaktadır. Geleneksel yapılar ile birlikte bulanık mantık kontrolcü gibi akıllı kontrol yöntemlerinin de kullanıldığı bu karar yapısı, bataryaların sağlıklı kullanılması ve sistemin düzgün işleyişini sağlaması açısından önem taşımaktadır.

Bu bölümde eşik kontrol yöntemi ve bulanık mantık kontrol yönteminin uygulanması anlatılacaktır.

4.4.1 Eşik kontrol Yöntemi

Eşik kontrol yöntemi uygulanması ve kullanımı kolay olan bir yöntemdir. Bu sebeple batarya açma-kapama biriminde öncelikli olarak kullanılan yapı olmuştur. Eşik kontrol yöntemi kullanılarak batarya gerilim seviyesini kullanarak bataryanın kullanıma ne zaman dahil edileceğini ve ne zaman devreden çıkarılacağına karar verilmektedir. Yazılım akış diyagramı Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10 Batarya kontrol - Eşik kontrol yöntemi akış diyagramı

Eşik kontrol yönetimi iki farklı değeri referans alarak bataryaları kontrol etmektedir. Bu değerlerden biri batarya en düşük kullanım limitidir. Bataryaların bu değerin altında kullanılması bataryaların zarar görmesine sebep olmaktadır.

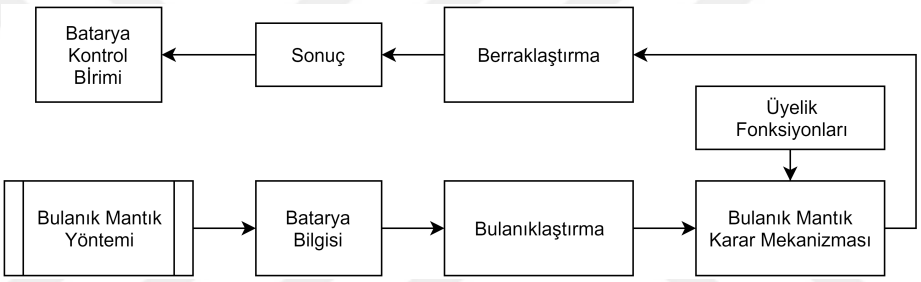
Bataryaların kimyasal yapısından dolayı, çekilen akım değerine göre batarya geriliminde açık devre gerilimine göre düşüşler görülmektedir. Bu sebeple bataryaların tekrar kullanılması için belirlenen değer, en düşük kullanım limitinden 300 mV yüksek olarak ayarlanmış ve batarya kapama ve açma gerilim değerleri arasında bir güvenlik payı sağlanmıştır. Aradaki 300 mV'luk güvenlik payı, bataryaları kontrol eden yapının bataryayı sürekli olarak devreden çıkarıp kullanıma almasını engellemektedir.

4.4.2 Bulanık Mantık Kontrol Yöntemi

Eşik kontrol yönteminde, en düşük kullanım limiti belirlenirken DG-BYS'lerden sağlanacak en yüksek akım değerine göre bir değer belirlenmiştir. Bataryalardan çekilen akım değeri yüksek iken bu değer olması gerekenden düşük seçilir ise DG-BYS'lerin sağlıklı çalışmasını sağlayacak enerji bataryalarda kalmayacaktır. Fakat, bataryalardan çekilen akım değeri düşük iken belirlenen değerde kapatıldığında, bataryalar üzerinde düşük akımlı sistemleri besleyecek enerji hala bulunmakta fakat kapatıldığından dolayı kullanılamamaktadır.

Bataryaların daha etkin kullanılmasını sağlamak için bulanık mantık gibi akıllı bir yapı kullanılmasına karar verilmiştir. Bulanık mantık, kontrolcü giriş değerlerini belirlenen kurallar tablosuna göre belirli işlemlerden geçirerek sonuç değeri elde edilen bir yöntemdir[30]. Bulanık mantık kontrolcüsü bu çalışmada batarya açma-kapama biriminin ve şarj biriminin kontrolünün sağlanması için kullanılmıştır.Bulanık mantık kontrolcüsü ile düşük akım kullanımında bataryaların daha uzun kullanılması ve şarj kontrolünün PID kontrole göre daha hızlı yapılması sağlamaktadır.

Bulanık mantık kontrolcüsüne ait blok diyagram Şekil 4.11'de verilmiştir [31]. Kontrolcü, giriş verilerini önceden belirlenen kural tablosuna uygun olarak değerlendirerek çıkış değeri üretmektedir. DG-BYS için tasaralanan bulanık mantık kontrolcüsü MATLAB programının bulanık mantık aracı kullanılarak geliştirilmiştir. Bulanık mantık kontrolü çıkış değeri hesaplanırken Mamdani çıkarım yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 4.11 Bulanık mantık blok diyagramı [31]

Mamdani çıkarım yöntemi ile çıkış sinyalini hesaplamak için öncelikle Denklem 4.6 kullanılarak bütün giriş olasılıklarına karşılık gelen üyelik fonksiyonları hesaplanmaktadır. Bu denklemde G değerleri giriş sinyallerini belirtmektedir. "x" ve "y" değerleri giriş sinyallerinin anlık değerlerini belirtmektedir. "z" değeri hesaplanan üyelik fonksiyonu değerini belirtmektedir. Kullanılan çıkarım yöntemi, "z" çıkış değeri olarak giriş sinyallerinden küçük olanı seçmektedir.

$$G_1 = x \; ve \; G_2 = y \; ise \; z_i = \text{Küçük}(x, y) \tag{4.6}$$

Üyelik fonksiyonlarına ait ağırlık değerleri Denklem 4.7 kullanılarak hesaplanmaktadır. "w" değerleri hesaplanan ağırlık değerlerini, "z" değerleri Denklem 4.6 ile hesaplanan üyelik fonksiyon değerlerini, "o" değerleri üyelik fonksiyonları için belirlenen çıkış değerlerini belirtmektedir. Her üyelik fonksiyonu, nihai çıkış değerine etki etmektedir. Ağırlık değerleri, bu fonksiyonların etki oranlarını göstermektedir.

$$w_i = z_i * o_i \tag{4.7}$$

Bulanık mantık kontrolcü çıkış değerini bulmak için Denklem 4.8 kullanılmaktadır. "N" değeri üyelik fonksiyonlarının toplam sayısını belirtmektedir. Denklem 4.6 ve Denklem 4.7'de hesaplanan "w" ve "z" değerleri kullanılarak çıkış değerlerinin ağırlıklı ortalaması kontrolcü çıkış değeri olarak hesaplanmaktadır.

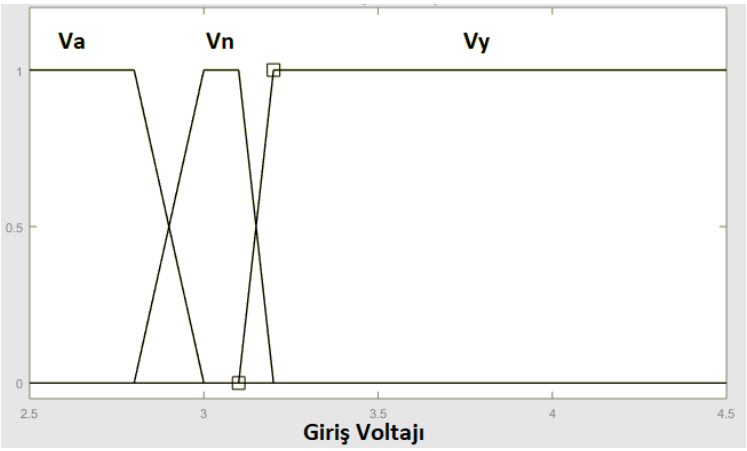
$$\text{Kontrolcü Çıkışı} = \frac{\sum_{i=1}^{N} w_i * z_i}{\sum_{i=1}^{N} w_i} \tag{4.8}$$

Bulanık mantık kontrolcüsü için iki adet giriş belirlenmiştir. Bunlar batarya gerilimi ve batarya gerilim değişimi değeridir. Bu girişler kullanılarak oluşturulan kural tablosu Tablo 4.3'de verilmiştir. Va, Vn, Vy, da,dn ve dy olmak üzere altı adet üyelik fonksiyonu girişlerini, iyi, orta ve kötü ise bulanık mantık kontrolcüsünün çıkış fonksiyonu için referans değerlerini oluşturmaktadır.

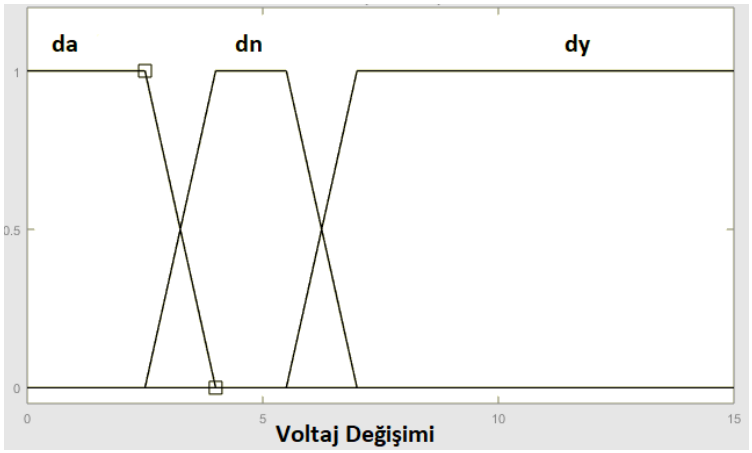
Tablo 4.3 Bulanık mantık kural tablosu (Deşarj)

	Va	**Vn**	**Vy**
da	Kötü	İyi	İyi
dn	Kötü	Orta	İyi
dy	Kötü	Kötü	Orta

Va, Vn ve Vy değerleri batarya geriliminin az, normal ve yüksek değerini belirtmektedir. da, dn ve dy değerleri batarya gerilim değişim değerinin az, normal ve yüksek değerlerini belirtmektedir. Üyelik fonksiyonları Şekil 4.12 ve 4.13'de verilmiştir.

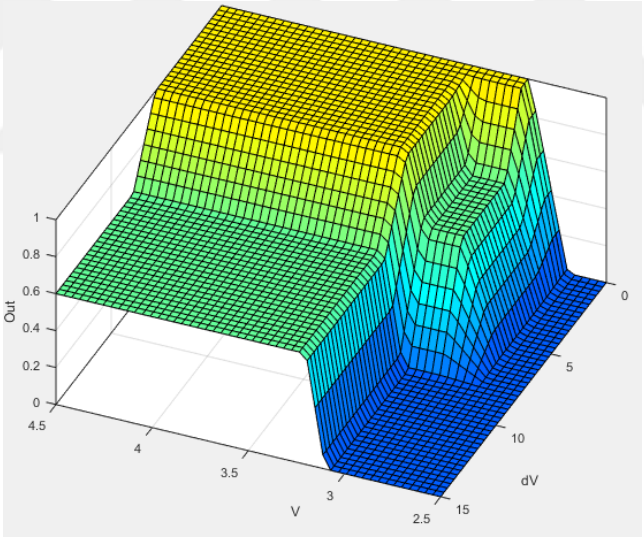


Şekil 4.12 Bulanık mantık - Gerilim değeri üyelik fonksiyonu



Şekil 4.13 Bulanık mantık - Gerilim değişim değeri üyelik fonksiyonu

Batarya kontrolü için kullanılan Mamdani yöntemi ile elde edilen değerlerin girişlere göre değişim grafiği Şekil 4.14'de gösterilmiştir. Batarya gerilim ve gerilim değişimi bilgisine göre kontrolcü 0 ile 1 arasında sayısal bir değer üretmektedir. Çıkış değeri 0.25'in altına düştüğünde bataryanın kapatılması komutu açma-kapama birimine iletilmektedir. 0.3'ün üstündeki değerlerde batarya açma komutu iletilmektedir.



Şekil 4.14 Bulanık mantık kontrolcü - Giriş / çıkış grafiği

4.5 Şarj Kontrolü

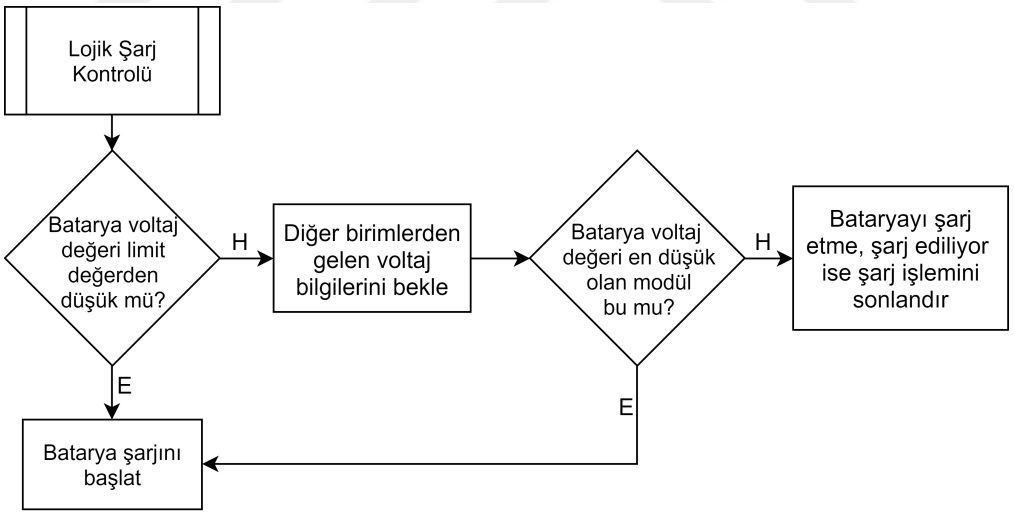
DG-BYS modülleri üzerinde dahili olarak şarj birimi bulunmaktadır. Bu şarj birimi ile bataryalar kullanımda olması-olmaması durumundan bağımsız bir şekilde düşük gerilim seviyeleri ile şarj edilebilmektedir. Düşük gerilim ile şarj edilmesi, batarya paketinde bulunan batarya sayısının değiştirilebilir olmasını sağlamıştır. Bataryaların şarj kontrolü, lojik şarj kontrolü ve kare dalga genlik modülasyonu yöntemi olmak üzere iki farklı yöntem ile gerçekleştirilmiştir.

4.5.1 Lojik Şarj Kontrolü

Lojik şarj kontrolü, şarj birimi üzerinde sadece açma-kapama işlemi yapmaktadır. Şarj akımı bu kontrol metodu için sabit ve şarj birimi tarafından belirlenmektedir. Lojik şarj kontrolü kullanılırken DG-BYS modüllerinin birbirileri ile sürekli bir iletişim halinde bulunmalarını gerektirmektedir.

DG-BYS ler arasındaki en düşük gerilim seviyesine sahip modül, diğer modüllere kendi bataryasının şarj edileceği bilgisini iletmekte ve diğer modüllerden şarj edilmedikleri bilgisinin gelmesini beklemektedir. Diğer modüllerin bataryaları şarj etmediği bilgisi geldikten sonra modül kendi bataryasını şarj etmeye başlamaktadır. Şarj işlemi kendinden bir sonraki batarya gerilim seviyesinin belirlenen değer kadar üstüne çıktığında hangi modülün şarj edileceğine tekrar karar verilmektedir.

Gerilim seviyesi kullanım limitlerinden daha düşük bir seviyede olan batarya olduğu zaman, batarya kullanım dışı bırakılmakta ve şarj edilmektedir. Aynı zamanda kullanımda olan bataryalar arasında en düşük gerilim seviyesine sahip batarya da şarj edilmektedir. Bu iki bataryadan birinin kullanım dışı olmasından dolayı birbiri ile bağlantısının olmaması, şarj işleminin eş zamanlı olarak yapılmasını sağlamaktadır. Lojik şarj kontrolüne ait akış diyagramı Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.15 Lojik şarj kontrolü akış diyagramı

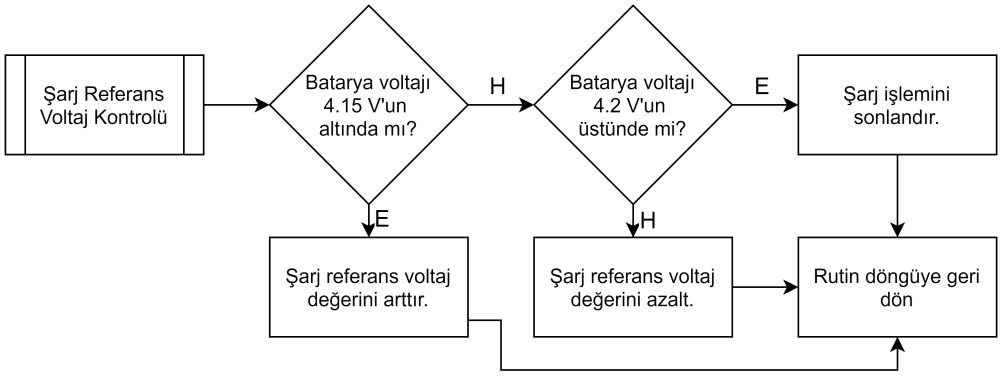
4.5.2 DGM Şarj Kontrolü

Lojik şarj kontrolü ve hazır şarj entegresi kullanılması ile bataryaların istenilen şekilde şarj edilmesi sağlanmıştır. Fakat bataryalardan biri şarj olurken diğer bataryalar lojik şarj kontrolü ile şarj edilememektedir. Ayrıca kullanılan şarj entegresinin şarj akım değeri 500 mA ile sınırlı kalmaktadır. Bu sebeplerden dolayı hızlı şarj işlemi gerçekleştirilememektedir.

Birden fazla bataryayı aynı anda şarj edebilmek ve şarj akım değerini arttırmak için zaman paylaşımlı bir şarj yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemin kontrol edilmesi için darbe genlik modülasyon (DGM) şarj kontrolü kullanılmıştır.

DGM şarj kontrolü iki aşamada sağlanmaktadır: Birinci aşama bataryaların şarj referans geriliminin belirlenmesi, ikinci aşama belirlenen şarj referans gerilim değeri için DGM doluluk oranının belirlenmesi.

Şarj referans gerilimi, bataryaların şarj edilmesi için kullanılmaktadır. Batarya dolumu sırasında akım sabit tutulurken, şarj referans gerilimi kademeli olarak 4.15 V değerine kadar arttırılmaktadır. Eğer bu değer fazla arttırılırsa şarj akımı belirlenen limitin üstüne çıkmaktadır. Batarya 4.15 V seviyesine ulaştıktan sonra, referans gerilim değeri bu noktada sabit tutulur ve akım değeri 10 mA seviyesine düşene kadar şarj işlemi devam etmektedir. Şarj referans gerilim kontrolü akış diyagramı Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16 Şarj referans gerilim kontrolü akış diyagramı

Belirlenen şarj referans gerilimi şarj sırasında sabit tutulmak istenen batarya gerilim değerini belirtmektedir ve bunu gerçekleştirmek için DGM doluluk oranı sürekli kontrol edilmektedir. Eğer istenen değer batarya gerilim değerinden düşük ise doluluk oranı arttırılmakta, yüksek ise azaltılmaktadır. Bu işlem için belirli bir kontrol yöntemi kullanılmaz ise, şarj başlangıcından istenen referans değerinin ayarlanmasına kadar geçen süre en yüksek 12 saniye olmaktadır.

Batarya şarjı sırasında güç ve şarj hattında yaşanan değişimler şarj geriliminde anlık değişimler görülmektedir. Bu değişimlere karşılık doluluk oranı tepki süresi uzun olur ise bataryanın zarar görme riski bulunmaktadır. Bu sebeple doluluk oranı yazılımsal olarak tasarlanan kontrolcüler ile ayarlanmaktadır. Bunun için iki adet kontrolcü tasarlanmış, uygulanmış ve test edilmiştir: PID kontrolcü ve bulanık mantık kontrolcü.

4.5.2.1 PID Kontrolcü

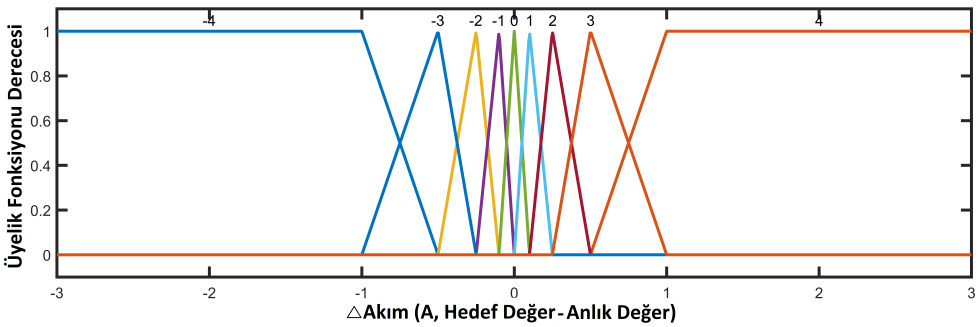
Referans değere ulaşma süresini kısaltmak ve bataryayı sağlıklı çalışacağı limit değerlerinde tutmak için ilk olarak PID kontrolcü tasarlanmıştır. PID kontrolcü istenen değeri ayarlamak için batarya gerilimi ile referans değeri arasındaki farkı kullanmaktadır. Tasarım sırasında şarj gerilim değerinde sıçrama olmaması ve tepki süresinin kısaltılması amaçlanmıştır. MATLAB programı ve PID aracı kullanılarak tasarlanan ayrık zamanlı PID kontrolcü katsayıları şu şekilde belirlenmiştir; oransal katsayı 0.1, integral katsayı 12, türevsel katsayı 0. Bu kontrolcü sayesinde istenen şarj gerilimine en yüksek 80 milisaniye sürede ulaşılması sağlanmıştır. PID kontrolcü, çıkış sinyali olarak DGM doluluk oranını vermektedir. Bu çalışmada kontrolcü PI modunda çalıştırılmıştır. İleriki çalışmalar için türev fonksiyonu sistemden çıkarılmamıştır.

4.5.2.2 Bulanık Mantık Kontrolcü

Tasarlanan bulanık mantık kontrolcüsü için iki adet giriş verisi kullanılmıştır: Anlık batarya şarj akımı ve anlık batarya gerilim değerleri. Bu değerlerin kullanılması ile kontrolcünün farklı şarj seviyeleri için daha hızlı cevap verecek şekilde ayarlanması sağlanmıştır. Bulanık mantık kontrolcü çıkış sinyali olarak DGM doluluk oranındaki değişim miktarını vermektedir.

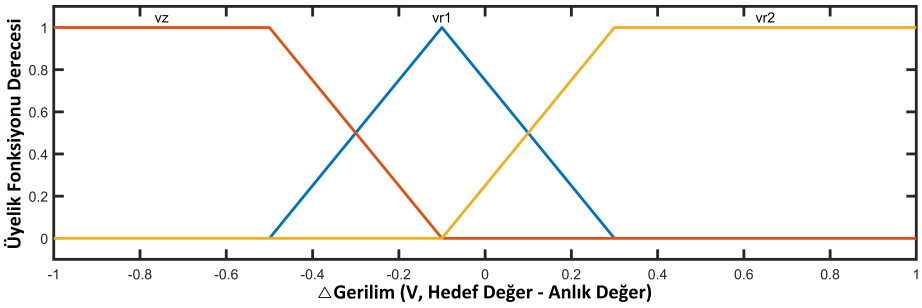
Üyelik fonksiyonları için belirlenen değerler, bataryaların sağlıklı çalışması için üretici tarafından belirlenen limit değerleri esas alınmıştır.

Anlık akım değerini belirten "Giriş 1", -3 ile +3 değerleri arasında haritalanmış dokuz üyelik fonksiyonundan oluşmaktadır. Giriş 1'e ait üyelik fonksiyonlarını gösteren grafik Şekil 4.17'de verilmiştir.



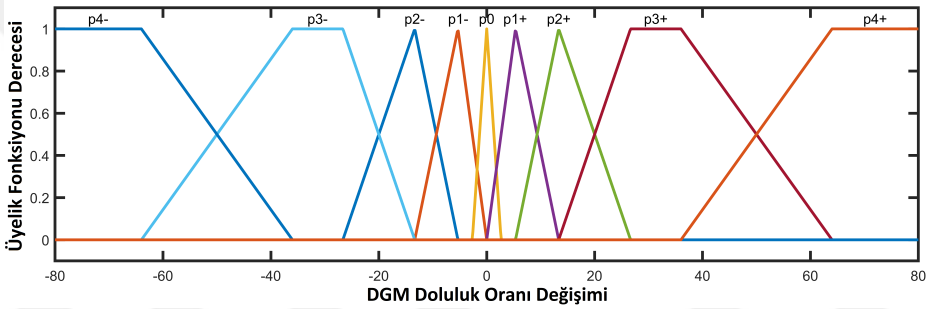
Şekil 4.17 Giriş 1 - Anlık akım değeri üyelik fonksiyonları

Anlık gerilim değerini belirten "Giriş 2", -1 ile +1 değerleri arasında haritalanmış üç üyelik fonksiyonundan oluşmaktadır. Giriş 2'ye ait üyelik fonksiyonlarını gösteren grafik Şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.18 Giriş 2 - Anlık gerilim değeri üyelik fonksiyonları

DGM doluluk oranındaki değişim miktarını belirten "Çıkış", -80 ile +80 arasında değişen dokuz üyelik fonksiyonundan oluşmaktadır. Çıkışa ait üyelik fonksiyonlarını gösteren grafik Şekil 4.19'da verilmiştir.



Şekil 4.19 Çıkış - DGM doluluk oranı değişimi üyelik fonksiyonları

Değişim miktarının belirlenmesi için girişlere göre kullanılacak çıkış fonksiyonlarının belirtildiği kural tablosu oluşturulmuştur. Belirlenen kural tablosu Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4 Bulanık mantık kontrolcü kural tablosu (Şarj)

		Akım								
		-4	**-3**	**-2**	**-1**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**
Gerilim	**Vz**	p4-	p3-	p2-	p1-	p0	p1+	p2+	p3+	p4+
	Vr1	p4-	p3-	p2-	p1-	p1-	p1-	p1-	p1-	p1-
	Vr2	p4-	p4-	p3-	p2-	p2-	p2-	p2-	p2-	p2-

Kural tablosunun oluşturulması için, şarj işlemi herhangi bir kontrol yapılmadan gerçekleştirilmiştir. Değişimlere karşı doluluk oranı elle değiştirilmiş ve batarya değerleri gözlenmiştir. Bu işlem sonucunda istenen hassasiyetin yakalanması için girişlerde ve çıkışta belirlenen üyelik fonksiyonları sınırları ayarlanmış ve girişlere göre seçilecek çıkış üyelik fonksiyonları belirlenmiştir. Bunun sonucunda bu çalışmada hazırlanan PID kontrolcüye göre daha dinamik bir kontrolcü tasarlanmış ve daha hızlı tepki süresine sahip olması sağlanmıştır (20 mS).

5
SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu bölümde, tasarımı yapılarak prototiplenen DG-BYS modülleri ile yapılan testler ve test adımları anlatılacaktır. Gerçekleştirilen testlere ait veriler TEKTRONIX TDS2012B osiloskobu ve UNI-T UT61E multimetresi kullanılarak bilgisayar ortamına kaydedilmiştir. Verilerin grafikleri MATLAB programı kullanılarak çizilmiştir.

DG-BYS modüllerinde Power-Xtra markasının üretimi olan 2000 mAh kapasiteli bataryalar kullanılmıştır. Bu bataryaların iç direnc değerleri 60 mΩ ile 100 mΩ arasında değişmektedir. Bataryaların nominal gerilim değeri 3.7 V'tur. En yüksek şarj gerilim değeri 4.2 V ve en düşük kullanım gerilim değeri 2.7 V'tur. Üretici tarafından belirtilen standart şarj akımı 500 mA, hızlı şarj akımı 1400 mA, şarj sonlandırma akımı ise 100 mA'dir. Batarya paketini oluşturan bataryalara ait teknik özellikler Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1 Kullanılan bataryaya ait teknik özellikler [51]

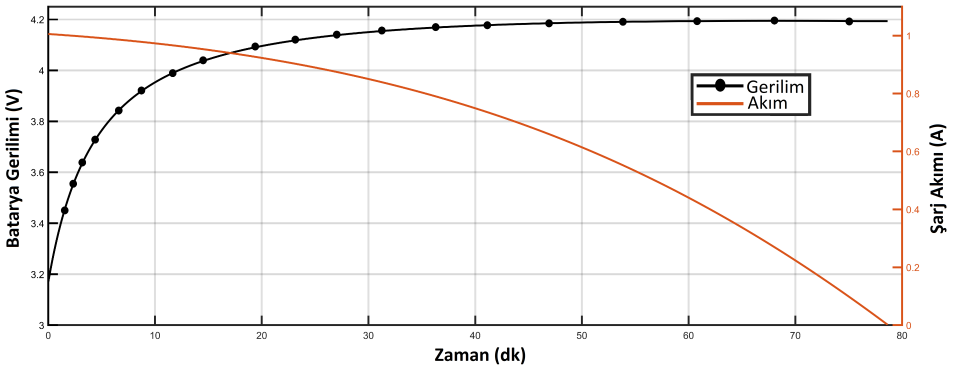
Power-Xtra 3.7V Li-ion 18650 2000 mAh batarya özellikleri	
Batarya gerilimi	3.7 V
Batarya kapasitesi	2000 mAh
En yüksek batarya gerilimi	4.2 V
En düşük batarya gerilimi	2.7 V
En yüksek şarj akımı	0.7 C
En yüksek deşarj akımı	1.5 C
Batarya iç direnci	60-100 m
Şarj kesim akımı	0.05 C

Bataryaların 4.2 V gerilim seviyesine kadar sabit akım ile, 4.2 V seviyesine ulaştıktan sonra ise sabit gerilim ile şarj edilmektedir. Sabit akım modunda bataryalar 1.4 A seviyesine kadar modül tarafından belirlenen sabit bir değerde şarj edilecektir. Sabit gerilim modunda, şarj akımı azaltılarak gerilim sabit tutulacaktır. Şarj akım değeri 100 mA değerine düştüğünde şarj işlemi sonlandırılacaktır.

DG-BYS modüllerinde bulunan şarj birimlerini kontrol eden yazılım, genel olarak Li-İon ve Li-Po bataryaların şarj işlemlerini bataryalara zarar vermeden gerçekleştirmelerini sağlamaktadır. Şarj işlemi iki aşamada gerçekleşmekte, ilk aşamada batarya sabit akım ile şarj edilmektedir. İkinci aşamada batarya gerilimi 4.2 V seviyesinde sabit tutularak şarj akımı düşürülmekte ve şarj akım değeri batarya kapasitesinin %1 seviyesine düştüğü noktada şarj sonlandırılmaktadır.

Li-İon ve Li-Po bataryalar aynı şarj prosedürünü kullandıkları için, geliştirilen şarj birimi ve yazılımı DG-BYS modüllerinin bu tip bataryalarla kullanılabilmesini sağlamaktadır.

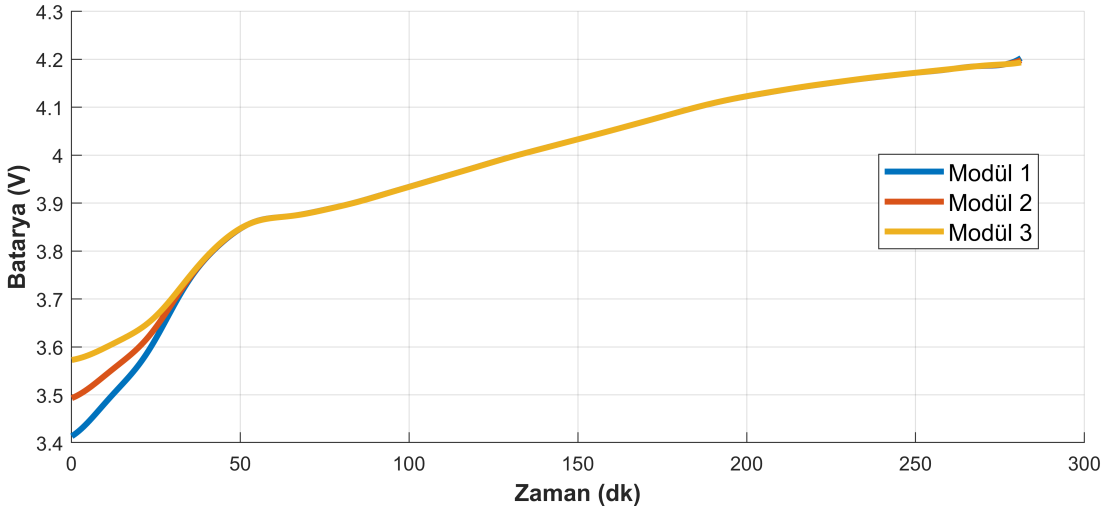
Batarya şarj grafiği Şekil 5.2'de verilmiştir. Şarj testinde, gözlenmek istenen bataryaların istenilen şekilde şarj edilmesi ve şarj işleminin doğru bir şekilde tamamlanmasıdır.



Şekil 5.1 DG-BYS modülü batarya şarj gerilim-akım grafiği

Şarj gerilim-akım grafiği incelendiğinde, batarya gerilimi 4.2 V değerine gelene kadar şarj akımı kontrollü bir biçimde azaltıldığı ve gerilim değerinin 4.2 V seviyesinde sabitlenmiş olduğu görülmüştür. Aynı batarya ve donanım yapısına sahip olduklarından dolayı test bir modül ile gerçekleştirilmiştir. Batarya geriliminin sabit tutulması için anlık akım değerinin kademeli olarak azaltıldığı grafikte görülmektedir. şarj işleminin tamamlanması için gerekli olan akım değerinin 50 mA seviyesine kadar düşmesi şartının da sağlandığı görülmekte ve bu noktada şarj işleminin tamamlandığı görülmektedir.

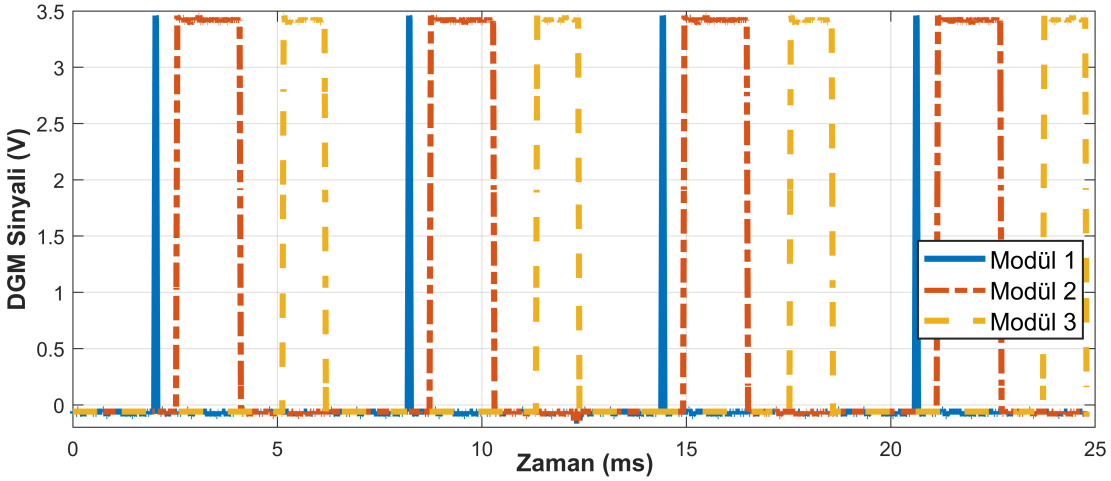
Üç hücreli bir batarya paketinin DG-BYS modülleri ile şarj edilmesine ait Gerilim-Zaman grafiği Şekil 5.2'te verilmiştir. Bu testte, DG-BYS modüllerinin paketi oluşturan batarya gerilim seviyelerini şarj sırasında dengelemesi izlenmiştir. Amaç, seviyesi düşük olan bataryanın daha hızlı şarj edilmesi ve tüm batarya seviyelerinin en kısa sürede dengelenmesidir. Bu şekilde, batarya paketinin kullanımına ihtiyaç olduğunda şarj işlemi bitmemiş olsa bile bataryaların tam performans vermesi amaçlanmıştır.



Şekil 5.2 Üç hücreli batarya paketi şarj grafiği

Şekil 5.2 incelendiğinde, 3 adet seri bağlı modülde kullanılan bataryaların şarj durumlarının şarj işlemine başlanmadan önce farklı şarj seviyelerine sahip olduğu görülmektedir. Bataryaların gerilim seviyeleri normal batarya gerilim seviyesi olan 3.7 V değerine ulaşana kadar şarj seviyeleri arasındaki dengesizliğin giderildiği gözlenmiş ve dengeli bir şarj işlemi yapılarak batarya paketinin şarj işlemi gerçekleştirilmiştir.

Modüller şarj işlemi için, değişken doluluk oranına sahip DGM sinyallerini kullanmaktadır. DG-BYS modüllerinin aynı anda şarj işlemi yapmaları, seri bağlı bataryaların pozitif ve negatif terminalleri arasında kısa devreye sebep olmaktadır. Bu nedenle, DGM sinyalleri her modülde farklı zamanlarda aktif olmalıdır. modüller arasındaki haberleşme ile seviyesi en düşük olan batarya daha yüksek doluluk oranına, yüksek olan batarya da daha düşük doluluk oranına sahiptir. Bu şekilde batarya seviyeleri şarj sırasında eşitlenmektedir. Seri bağlı üç modülün çalışma sırasında oluşturduğu DGM sinyalleri Şekil 5.3'de verilmiştir.



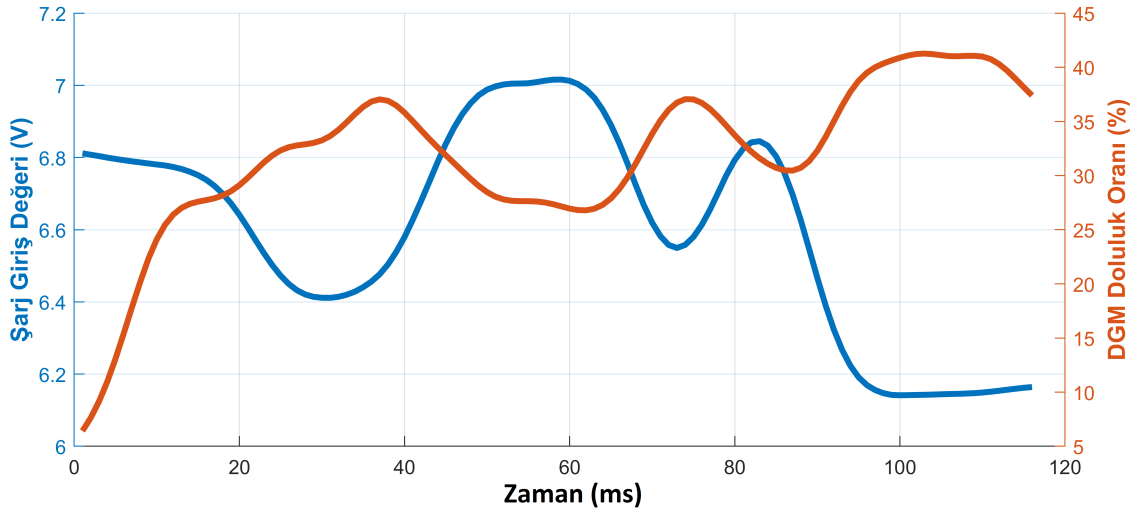
Şekil 5.3 Modüllere ait DGM sinyalleri

Donanım yapısı DGM sinyalleri bir sonraki modüle senkronizasyon sinyali olarak yollanacak şekilde tasarlanmıştır. Sinyalin düşen kenarı, bir sonraki modül için şarj birimini aktif etme işareti olarak kullanılmaktadır. Batarya şarj seviyesine göre sinyallerin doluluk oranı değişmektedir. Test için kullanılan 3 modülden ilki tam dolu bataryaya, ikinci modül ise tamamen boş bataryaya sahiptir. Kullanılan üçüncü modüldeki batarya ise %70 doluluk oranına sahiptir. Her modül kendinden önceki modüle ait sinyalin periyodunu tamamlamasını beklemesi gerekmektedir.

Şekil 5.3 incelendiğinde, modüllere ait sinyallerin lojik 1 seviyesinde olduğu zaman aralıklarının biribirleri ile çakışmadığı, her modüle ait sinyalin periyodunun sabit ve eş süreye sahip olduğu görülmektedir. Dolu bataryaya sahip olan modülün bir sonraki modüle sinyal gönderebilmesi için %0.25 doluluk oranına sahip sinyal ürettiği görülmektedir. Şarj işleminin modüller arasında eş zamanlı yapılması ve modüller arasında sorun çıkmaması amacı ile doluluk oranının %98.5 ile sınırlandırılmıştır. Bu sayede modüller arası geçiş sırasında yaşanacak transistör anahtarlama gecikmeleri engellendiği görülmektedir. Bu sayede iki farklı modülde kullanılan transistörlerin aynı anda iletimde olması engellenmiştir.

DG-BYS modülü, 5 V ile 8 V arasında şarj gerilim girişini desteklemektedir. Modüller üzerinde bulunan yazılımın, giriş gerilimindeki değişikliklere karşı şarj sinyalinde düzeltmeler yapması beklenmektedir.

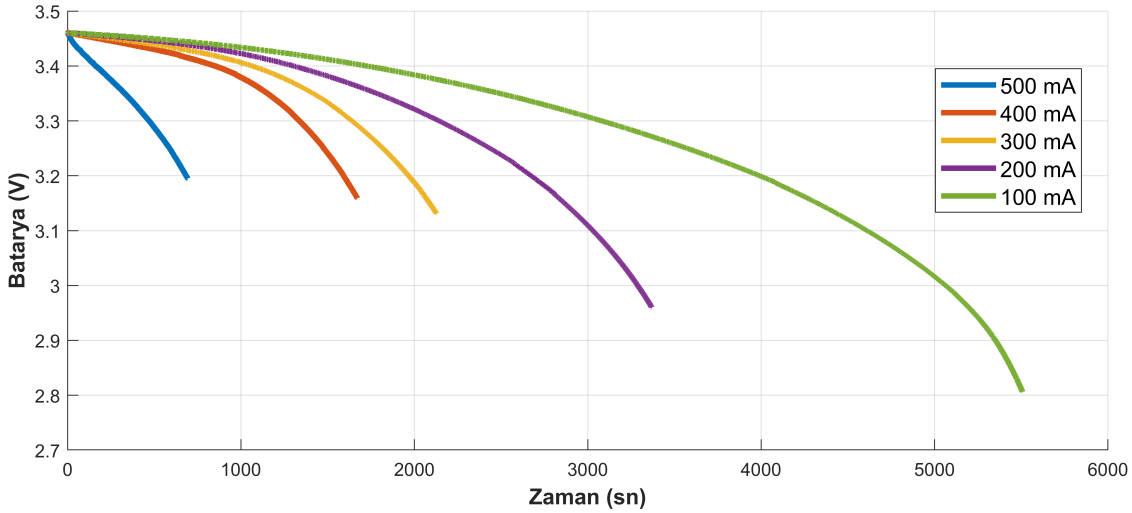
Bu test için, %50 dolulukta bir bataryanın standart şarj işlemine başlanmış ve giriş gerilimi şarj esnasında 7 V ile 6.1 V arasında değiştirilerek DGM doluluk oranının modül üzerinde bulunan kontrolcü tarafından otomatik olarak ayarlanması gözlenmiştir. Şarj giriş değerine karşılık DGM doluluk oranı değişimini gösteren grafik Şekil 5.4'de verilmiştir.



Şekil 5.4 Şarj giriş değeri - DGM doluluk oranı grafiği

Yapılan test sonucunda, şarj biriminin ve şarj kontrol yazılımının batarya şarjını istenilen şekilde yapmasını sağlamak üzere şarj kontrol sinyali üzerinde gerekli düzeltmeleri yaptığı ve şarj işleminin sağlıklı bir şekilde sürdürüldüğü gözlenmiştir.

Modül enerjisi üzerinde bulunan bataryalardan sağlanmaktadır. Batarya kullanımı sonlandırıldığında modüllerin işlevlerini sürdürebilmesi için gerekli enerji bulunmaz ise modüller çalışmalarını durduracak ve batarya paketi tamamen kullanılamaz hale gelecektir. Bölüm 4.4.2'de anlatılan bulanık mantık kontrolcüsü ile bataryalardan çekilen enerjiye göre paketin kullanım süresini uzatacak bir yöntem geliştirilmiştir. Bulanık mantık kontrolcüsü kullanılmadığında bataryalar 3.2 V değerine düştüklerinde kullanıma kapatılmaktadır. Hafif yüklerde kapatma gerilim değeri değiştirilerek kullanım süreleri uzatılmıştır. Bulanık mantık kontrolcüsünün sistem üzerindeki etkisini gösteren test grafiği Şekil 5.5'de verilmiştir.



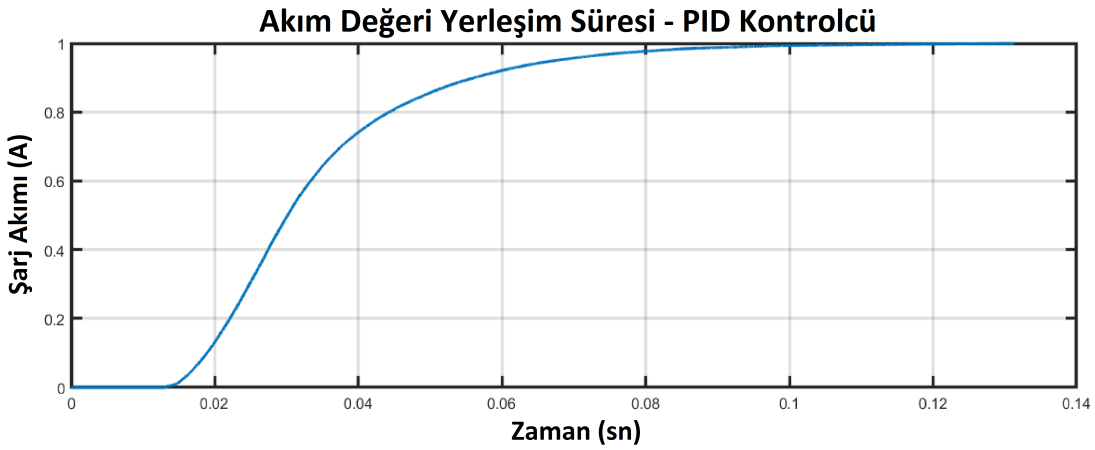
Şekil 5.5 Bulanık mantık kontrolcüsü ile batarya deşarj kontrolü

Batarya paketinin eşik kontrol metodu ve bulanık mantık kontrolcü kullanılarak deşarj sürelerine ait süre ve karşılaştırma sonuçları Tablo 5.2'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre düşük yüklerde bulanık mantık kontrolcü kullanım süresinde %40'a varan artış sağlamaktadır.

Tablo 5.2 Kontrol yöntemleri performans karşılaştırma tablosu [51]

Akım	Eşik kontrol metodu	Bulanık mantık kontrolcüsü	Artış
500 mA	800 sn	800 sn	%0
400 mA	1600 sn	1750 sn	%9.4
300 mA	1950 sn	2150 sn	%10.25
200 mA	2700 sn	3300 sn	%22.22
100 mA	4000 sn	5600 sn	%40

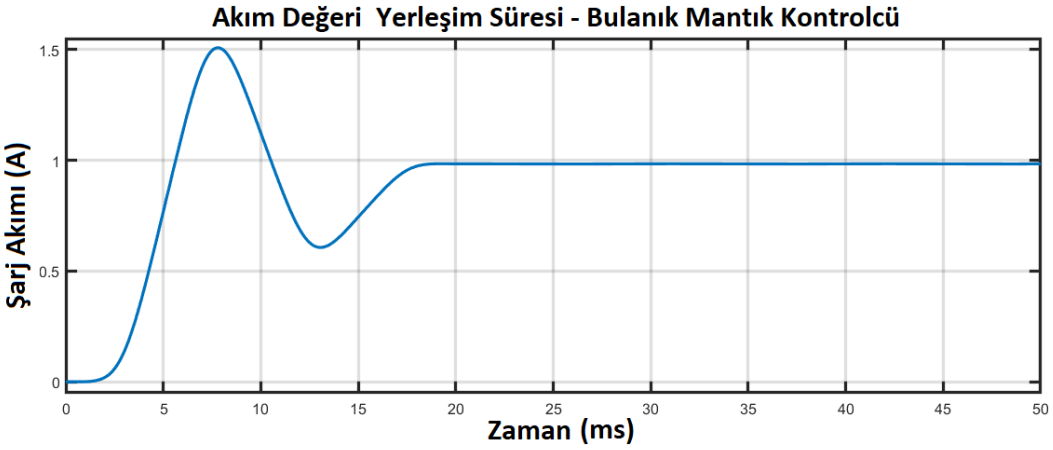
Bu çalışma süresince şarj kontrolü için tasarlanan ve uygulanan PID kontrolcüye ait yerleşim süresi grafiği Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6 Akım değeri yerleşim grafiği - PID kontrolcü

Bu grafiğe göre şarj işlemi başlangıcından 120 msn sonra istenen akım değerine ulaşıldığı ve yerleşim süresi boyunca yerleşim çizgisinde sıçrama bulunmadığı görülmüştür.

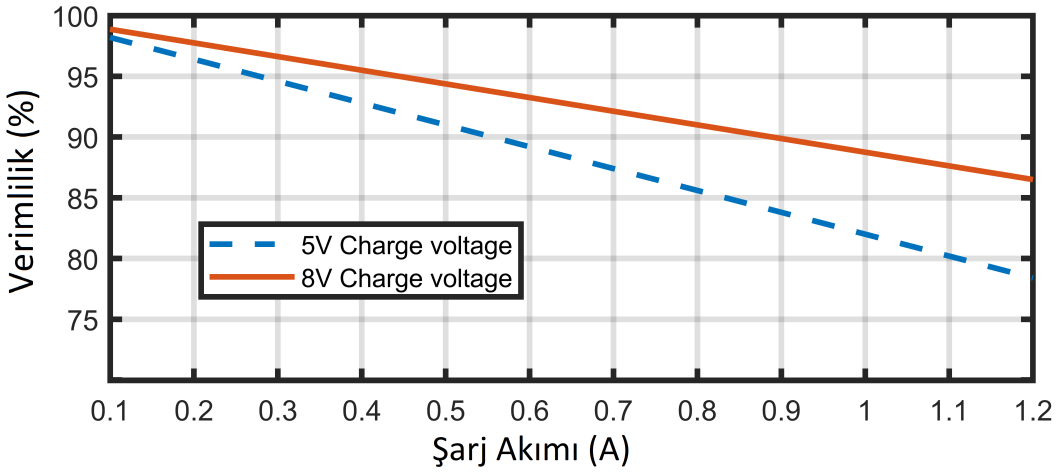
Sistemin tepki süresini arttırmak amacı ile uzman görüşlerine dayalı bir kontrolcü olan bulanık mantık kontrolcüsü tasarlanmış ve uygulanmıştır. Bu kontrolcüye ait yerleşim grafiği Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.7 Akım değeri yerleşim grafiği - Bulanık mantık kontrolcü

Bu grafiğe göre yerleşim süresi 20 msn olmaktadır. Yerleşim çizgisinde aşım olduğu görülse de, 5 msn 'den uzun sürmemesi, batarya maksimum şarj akımı değerinin altında kalması ve yerleşim süresinin PID kontrolcüye göre altı kat kısa sürmesi bu aşımın gözardı edilebilmesini sağlamıştır.

Çalışmada ölçümü yapılan bir diğer değişken ise şarj verimliliğidir. Verimlilik ölçümü yapılırken şarj hattını oluşturan devre elemanlarının harcadığı güç, toplam şarj gücü ve bataryaya aktarılan güç hesaplanmıştır. Şarj girişi için alt değer olan 5 V ve üst değer olan 8 V gerilim değerleri için verimlilik hesapları yapılmış ve akım - verimlilik oranının verildiği grafik Şekil 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5.8 Şarj akımı verimlilik grafiği

Grafiğe göre, şarj gerilimi yükselmesi verimliliğin artmasını sağlamıştır. 100 mA şarj akım değerinde verimlilik değerleri arasında %2 fark bulunuyorken şarj akım değeri 1.2 A değerine ulaştığında bu fark %10'a ulaşmaktadır. Ayrıca 1.2 A şarj değerinde verimlilik en yüksek %87 olarak ölçülmüştür.

Tasarlanan ikinci şarj birimi, aynı zamanda enerji verimliliğinin artmasını sağlamıştır. Devre elemanlarının harcadıkları enerji ve birimler üzerinde harcanan toplam enerji Tablo 5.3'de verilmiştir. Tablo incelendiğinde,ikinci şarj biriminde harcanan enerji birinci şarj birimine göre %65 azaltıldığı görülmektedir.

Tablo 5.3 Şarj birimlerinde kullanılan devre elemanlarında harcanan enerji

Devre elemanı	Birinci şarj birimi	İkinci şarj birimi
Röle	0.4 W	-
Diyot	-	0.6 W
Şarj entegresi	1.54 W	-
MOSFET (Toplam)	-	0.15 W
Optokuplör	0.15 W	-
TOPLAM	**2.1 W**	**0.75 W**

Bu çalışmada modüler, genişletilebilir ve batarya sayısından bağımsız olacak şekilde şarj işlemini gerçekleştirebilen bir batarya yönetim sistemi tasarımı yapımış ve gerçeklenmiştir. Bu sistem ile batarya paketi kolay bir şekilde genişletilebilmektedir. Şarj işleminin USB bağlantısından veya güç kaynağından kolay bir şekilde yapılabilmektedir.

Çalışma sonucunda, biten veya arızalanan bataryaların tespit edilerek güç hattından çıkarıldığı ve güç hattının kalan bataryalar ile tamamlanarak enerjinin aktarılabildiği görülmüştür. Kullanılan ve tasarlanan kontrolcüler ile birlikte, şarj akımı ve şarj geriliminin geleneksel pid kontrolcüye göre 6 kat daha hızlı ayarlanabilmesi sağlanmıştır.

Tasarlanan sistemin, yenilenebilir enerji kaynakları ile çalışabilecek altyapısı bulunmaktadır. Bu sebeple, ileriki çalışmalarda bu sistemin güneş paneli, ev tipi rüzgar tribünü gibi çeşitli güç kaynakları ile kullanılması düşünülmektedir. Ayrıca sistemin 18650 boyutlu bataryalar dışında farklı boyuttaki endüstriyel bataryalar ile çalışmasının sağlanması da düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

[1] V. L. Teofilo, M. J. Isaacson, R. L. Higgins, E. A. Cuellar, "Advanced lithium ion solid polymer electrolyte battery development," *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 14, no. 11, pp. 43–47, Nov. 1999. DOI: 10.1109/62.809260.

[2] J. A. Asumadu, M. Haque, H. Vogel, C. Willards, "Precision battery management system," in *2005 IEEE Instrumentationand Measurement Technology Conference Proceedings*, vol. 2, May 2005, pp. 1317–1320. DOI: 10.1109/IMTC.2005.1604361.

[3] I. N. Haq, E. Leksono, M. Iqbal, F. X. N. Sodami, Nugraha, D. Kurniadi, B. Yuliarto, "Development of battery management system for cell monitoring and protection," in *2014 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICEECS)*, Nov. 2014, pp. 203–208. DOI: 10.1109/ICEECS.2014.7045246.

[4] M. Giegerich, M. Akdere, C. Freund, T. Fühner, J. L. Grosch, S. Koffel, R. Schwarz, S. Waldhör, M. Wenger, V. R. H. Lorentz, M. März, "Open, flexible and extensible battery management system for lithium-ion batteries in mobile and stationary applications," in *2016 IEEE 25th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, Jun. 2016, pp. 991–996. DOI: 10.1109/ISIE.2016.7745026.

[5] Y. Li, Y. Han, "A module-ıntegrated distributed battery energy storage and management system," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 31, no. 12, pp. 8260–8270, Dec. 2016. DOI: 10.1109/TPEL.2016.2517150.

[6] C. Chen, Deng-Shian Wang, Jie-Jyun Li, C. Wang, "A battery ınterconnect module with high voltage transceiver using 0.25 m 60v bcd process for battery management systems," in *2012 International SoC Design Conference (ISOCC)*, Nov. 2012, pp. 1–4. DOI: 10.1109/ISOCC.2012.6406910.

[7] X. Man, L. Wu, X. Zhang, T. Ma, W. Jia, "A high precision multi-cell battery voltage detecting circuit for battery management systems," in *2016 IEEE 83rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, May 2016, pp. 1–5. DOI: 10.1109/VTCSpring.2016.7504072.

[8] S. Ci, N. Lin, D. Wu, "Reconfigurable battery techniques and systems: A survey," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 1175–1189, 2016.

[9] M. Brandl, H. Gall, M. Wenger, V. Lorentz, M. Giegerich, F. Baronti, G. Fantechi, L. Fanucci, R. Roncella, R. Saletti, S. Saponara, A. Thaler, M. Cifrain, W. Prochazka, "Batteries and battery management systems for electric vehicles," in *2012 Design, Automation Test in Europe Conference Exhibition (DATE)*, Mar. 2012, pp. 971–976. DOI: 10.1109/DATE.2012.6176637.

[10] T. Kim, W. Qiao, L. Qu, "Series-connected self-reconfigurable multicell battery," in *2011 Twenty-Sixth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, Mar. 2011, pp. 1382–1387. DOI: 10.1109/APEC.2011.5744772.

[11] ——, "A series-connected self-reconfigurable multicell battery capable of safe and effective charging/discharging and balancing operations," in *2012 Twenty-Seventh Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, 2012, pp. 2259–2264.

[12] F. Baronti, G. Fantechi, R. Roncella, R. Saletti, "Design of a module switch for battery pack reconfiguration in high-power applications," in *2012 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 2012, pp. 1330–1335.

[13] L. Pellegrino, E. Micolano, "Enhance available battery energy by means of a new management system control strategy," in *2016 AEIT International Annual Conference (AEIT)*, 2016, pp. 1–6.

[14] A. Manenti, A. Abba, A. Merati, S. M. Savaresi, A. Geraci, "A new bms architecture based on cell redundancy," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 9, pp. 4314–4322, 2011.

[15] G. Gunlu, "Dynamically reconfigurable ındependent cellular switching circuits for managing battery modules," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 32, no. 1, pp. 194–201, 2017.

[16] V. T. Liu, Y. C. Hsieh, J. M. Wu, C. M. Lin, "New type equalization circuit and management system of li-ion battery," in *11th IEEE International Conference on Control Automation (ICCA)*, Jun. 2014, pp. 1056–1060. DOI: 10.1109/ICCA.2014.6871066.

[17] Feng Ran, Hao Xu, Yuan Ji, Jiaqi Qin, Wenhui Li, "An active balancing circuit for lithium battery management system with optoelectronic switches," in *TENCON 2015 - 2015 IEEE Region 10 Conference*, Nov. 2015, pp. 1–5. DOI: 10.1109/TENCON.2015.7373096.

[18] V. Monteiro, P. Alves, A. A. N. Meléndez, C. Couto, J. L. Afonso, "A novel modular voltage balancing topology for active battery management system," in *2016 IEEE 25th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, Jun. 2016, pp. 793–798. DOI: 10.1109/ISIE.2016.7744991.

[19] L. Ping, Z. Hong-hui, C. Jie, L. Guan-yan, "A distributed management system for lithium ion battery pack," in *2016 Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, May 2016, pp. 3997–4002. DOI: 10.1109/CCDC.2016.7531683.

[20] M. M. U. Rehman, F. Zhang, M. Evzelman, R. Zane, D. Maksimovic, "Control of a series-input, parallel-output cell balancing system for electric vehicle battery packs," in *2015 IEEE 16th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL)*, Jul. 2015, pp. 1–7. DOI: 10.1109/COMPEL.2015.7236506.

[21] (), [Online]. Available: https://https://learn.sparkfun.com/.

[22] H. Fang, C. Depcik, V. Lvovich, "Optimal pulse-modulated lithium-ion battery charging: Algorithms and simulation," *Journal of Energy Storage*, vol. 15, pp. 359–367, Feb. 2018. DOI: 10.1016/j.est.2017.11.007.

[23] D.-R. Kim, J.-W. Kang, T.-H. Eom, J.-M. Kim, J. Lee, C.-Y. Won, "An adaptive rapid charging method for lithium-ıon batteries with compensating cell degradation behavior," *Applied Sciences*, vol. 8, p. 1251, Jul. 2018. DOI: 10.3390/app8081251.

[24] Z. Omariba, L. Zhang, D. Sun, "Review on health management system for lithium-ıon batteries of electric vehicles," *Electronics*, vol. 7, no. 5, p. 72, May 2018, ISSN: 2079-9292. DOI: 10.3390/electronics7050072. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.3390/electronics7050072.

[25] E. Banguero, A. Correcher, Á. Pérez-Navarro, F. Morant, A. Aristizabal, "A review on battery charging and discharging control strategies: Application to renewable energy systems," *Energies*, vol. 11, no. 4, p. 1021, Apr. 2018, ISSN: 1996-1073. DOI: 10.3390/en11041021. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.3390/en11041021.

[26] Z. Wang, Y. Wang, Y. Rong, Z. Li, L. Fantao, "Study on the optimal charging method for lithium-ıon batteries used in electric vehicles," *Energy Procedia*, vol. 88, pp. 1013–1017, Jun. 2016. DOI: 10.1016/j.egypro.2016.06.127.

[27] J. Amanor-Boadu, A. Guiseppi-Elie, E. Sánchez-Sinencio, "The ımpact of pulse charging parameters on the life cycle of lithium-ıon polymer batteries," *Energies*, vol. 11, no. 8, p. 2162, Aug. 2018, ISSN: 1996-1073. DOI: 10.3390/en11082162. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.3390/en11082162.

[28] N. Tephiruk, W. Kanokbannakorn, T. Kerdphol, Y. Mitani, K. Hongesombut, "Fuzzy logic control of a battery energy storage system for stability ımprovement in an ıslanded microgrid," *Sustainability*, vol. 10, no. 5, p. 1645, May 2018, ISSN: 2071-1050. DOI: 10.3390/su10051645. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.3390/su10051645.

[29] I. Iancu, "A mamdani type fuzzy logic controller," in. Mar. 2012, ISBN: 978-953-51-0396-7. DOI: 10.5772/36321.

[30] L. Zadeh, "Fuzzy sets," *Information and Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338–353, 1965, ISSN: 0019-9958. DOI: https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X. [Online]. Available: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001999586590241X.

[31] I. Sakti, "Methodology of fuzzy logic with mamdani fuzzy models applied to the microcontroller," in *2014 The 1st International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering*, 2014, pp. 93–98.

[32] P. H. L. Notten, *Rechargeable nickel-metalhydride batteries: a successful new concept*, F. Grandjean, G. J. Long, K. H. J. Buschow, Eds. Dordrecht: Springer Netherlands, 1995, ISBN: 978-94-011-0295-7. DOI: 10.1007/978-94-011-0295-7_7. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-94-011-0295-7_7.

[33] N. Furukawa, *Developers Spur Efforts to Improve NiCd, NiMH Batteries*. JEE, 1993, pp. 46–50.

[34] M. Barak, Ed., *Electrochemical Power Sources: primary and secondary batteries*, ser. Energy Engineering. Institution of Engineering and Technology, 1980. [Online]. Available: https://digital-library.theiet.org/content/books/po/pben001e.

[35] V. Pop, H. Bergveld, P. Notten, P. Regtien, "State-of-charge indication in portable applications," vol. 3, Jul. 2005, 1007–1012 vol. 3, ISBN: 0-7803-8738-4. DOI: 10.1109/ISIE.2005.1529061.

[36] M. A. Hannan, M. M. Hoque, E. P. Seow, M. Uddin, "Lithium-ıon battery charge equalization algorithm for electric vehicle applications," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. PP, pp. 1–1, Feb. 2017. DOI: 10.1109/TIA.2017.2672674.

[37] W.-Y. Chang, "The state of charge estimating methods for battery: A review," *ISRN Applied Mathematics*, vol. 2013, Jul. 2013. DOI: 10.1155/2013/953792.

[38] W. F. Bentley, "Cell balancing considerations for lithium-ion battery systems," in *The Twelfth Annual Battery Conference on Applications and Advances*, Jan. 1997, pp. 223–226. DOI: 10.1109/BCAA.1997.574107.

[39] R. A. Powers, "Batteries for low power electronics," *Proceedings of the IEEE*, vol. 83, no. 4, pp. 687–693, Apr. 1995. DOI: 10.1109/5.371974.

[40] M. J. Riezenman, "The search for better batteries," *IEEE Spectrum*, vol. 32, no. 5, pp. 51–56, May 1995. DOI: 10.1109/6.381877.

[41] B. University. (). Health concerns with batteries, [Online]. Available: http://batteryuniversity.com/learn/article/health_concerns.

[42] ——, (). Charging lithium-ion, [Online]. Available: http://batteryuniversity.com.

[43] M. Chen, G. A. Rincon-Mora, "Accurate, compact, and power-efficient li-ıon battery charger circuit," *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, vol. 53, no. 11, pp. 1180–1184, Nov. 2006. DOI: 10.1109/TCSII.2006.883220.

[44] J. Rivera-Barrera, N. Muñoz-Galeano, H. Sarmiento-Maldonado, "Soc estimation for lithium-ion batteries: Review and future challenges," *Electronics*, vol. 6, no. 4, p. 102, Nov. 2017, ISSN: 2079-9292. DOI: 10.3390/electronics6040102. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.3390/electronics6040102.

[45] M. Daowd, N. Omar, P. Van den Bossche, J. Van Mierlo, "A review of passive and active battery balancing based on matlab/simulink," *Journal of International Review of Electrical Engineering (IREE)*, vol. 6, pp. 2974–2989, Nov. 2011.

[46] M. Daowd, M. Antoine, N. Omar, P. Van den Bossche, J. Van Mierlo, "Single switched capacitor battery balancing system enhancements," *Energies*, vol. 6, pp. 2149–2174, Apr. 2013. DOI: 10.3390/en6042149.

[47] (), [Online]. Available: https://circuitdigest.com/article/cell-balancing-techniques-and-how-to-use-them.

[48] V. T. Liu, Y. C. Hsieh, J. M. Wu, C. M. Lin, "New type equalization circuit and management system of li-ion battery," in *11th IEEE International Conference on Control Automation (ICCA)*, 2014, pp. 1056–1060.

[49] K. Vitols, “Redesign of passive balancing battery management system to active balancing with integrated charger converter,” in *2014 14th Biennial Baltic Electronic Conference (BEC)*, 2014, pp. 241–244.

[50] Y. Zheng, F. He, W. Wang, “A method to ıdentify lithium battery parameters and estimate soc based on different temperatures and driving conditions,” *Electronics*, vol. 8, no. 12, p. 1391, Nov. 2019, ISSN: 2079-9292. DOI: 10.3390/electronics8121391. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.3390/electronics8121391.

[51] *Battery spec*, 900.600.503.201, Rev. A2, Power-Xtra.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Makale

1. Goksu, O.F.; Arabul, A.Y.; Acar Vural, R. Low Voltage Battery Management System with Internal Adaptive Charger and Fuzzy Logic Controller. Energies 2020, 13, 2221.