



**T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**LİTYUM TABANLI ENERJİ DEPOLAMA ÜNİTELERİ İÇİN  
BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI**

**Orçun KARADENİZ**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı**

**DANIŞMAN  
Prof. Dr. Ad İlhan KOCAARSLAN**

**Ocak, 2017**

**İSTANBUL**

Bu çalışma 31/01/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik-Elektronik Mühendisliği programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

**Tez Jürisi:**

İmza

Prof. Dr. İlhan KOCAARSLAN (Danışman)  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

İmza

Prof. Dr. Galip CANSEVER  
Yıldız Teknik Üniversitesi  
Elektrik Elektronik Fakültesi

İmza

Prof. Dr. Sıddık YARMAN  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

İmza

Yrd. Doç. Dr. Hasan TIRYAKI  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

İmza

Yrd. Doç. Dr. Abdurrahim  
AKGÜNDOĞDU  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi e



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

## ÖNSÖZ

Bu tez kapsamında enerji depolama ünitelerinde kullanılan lityum iyon bataryaların teknik parametreleri, kimyasal özellikleri, güvenli çalışma koşulları teorik olarak incelenmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda lityum tabanlı enerji depolama ünitelerinde kullanılmak üzere endüstriyel bir batarya yönetim sistemi tasarımı için gerekli olan malzeme ve yöntemler araştırılmış.

Lisans ve yüksek lisans çalışmalarım boyunca teorik ve pratik bilgilerimin gelişmesinde bana destek olan çok değerli hocam Prof. Dr. İlhan KOCAARSLAN'a, teşekkürü bir borç bilirim.

Gerek eğitim gerekse iş hayatımda yönlendirme ve yardımlarıyla çalışmalarına katkı sağlayan sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Hasan TİRYAKİ'ye, çalışma arkadaşım Tolga BAYKAL'a ve ortağım Gökhan ERDOĞAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi olarak her zaman yanımda olan sevgili aileme ve Selcan YONCU'ya desteklerinden dolayı teşekkür ederim

Ocak 2017

Orçun KARADENİZ

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ .....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ .....	viii
TABLO LİSTESİ.....	xi
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ .....	xii
ÖZET .....	xiii
SUMMARY .....	xv
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. GENEL KISIMLAR.....</b>	<b>5</b>
2.1. LİTYUM BATARYALAR.....	5
2.1.1. Lityum Batarya Çeşitleri .....	6
2.1.2. Lityum Bataryalarda Enerji Kapasitesi .....	8
2.1.3. Lityum Bataryaların Açık ve Kapalı Devre Hücre Gerilimleri.....	9
2.1.4. Lityum Bataryaların Şarj ve Deşarjı .....	10
2.1.5. Lityum Bataryalarda Güvenli Çalışma Bölgesi .....	13
2.2. BATARYA YÖNETİM SİSTEMLERİ VE FONKSİYONLARI .....	16
2.2.1. Deşarj Kontrol.....	17
2.2.2. Şarj Kontrol.....	17
2.2.3. Hesaplamalar.....	17
2.2.3.1. Şarj ve Deşarj Durumu Hesaplamaları .....	18
2.2.3.2. Direnç ve İç Parametre Hesaplamaları .....	24
2.2.3.3. Kapasite Hesaplamaları .....	24
2.2.3.4. Sağlık Durumu Hesaplamaları .....	25
2.2.4. Hücre Dengeleme.....	27
2.2.4.1. Pasif Dengeleme .....	33
2.2.4.2. Aktif Dengeleme.....	33
2.2.5. Veri Kaydı.....	38
2.2.6. Haberleşme .....	38
2.3. BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ TOPOLOJİLERİ.....	38
2.3.1. Merkezi Topoloji Batarya Yönetim Sistemleri.....	39

2.3.2. Dağıtılmış Topoloji Batarya Yönetim Sistemleri .....	40
2.3.3. Modül Topoloji Batarya Yönetim Sistemleri .....	41
<b>3. MALZEME VE YÖNTEM.....</b>	<b>42</b>
3.1. TASARIM.....	42
3.1.1. Güç Bloğu .....	43
3.1.2. Mikrodenetleyici Bloğu .....	44
3.1.3. LTC6803 BMS Entegresi Bloğu.....	45
3.1.3.1. LTC6803 Fonksiyon Blokları .....	46
3.1.3.2. LTC6803 Çalışma Şekli .....	48
3.1.3.3. LTC6803 Haberleşme Protokolü.....	50
3.1.3.4. Karşılaştırma .....	52
3.1.4. ADuM1401 Dijital İzolatör Bloğu.....	52
3.1.5. Haberleşme Bloğu.....	53
3.2. GÖMÜLÜ YAZILIM .....	55
3.2.1. Haberleşme Protokolü.....	59
3.3. KULLANICI ARAYÜZÜ .....	60
<b>4. BULGULAR.....</b>	<b>65</b>
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>	<b>69</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>72</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>74</b>
EK 1. Baskı Devre İki Boyutlu Çizimi (Altium Designer). .....	74
EK 2. Baskı Devre üç boyutlu çizimi (Altium Designer). .....	75
EK 3. LTC6803 Şematik Tasarım(Altium Designer). .....	76
EK 4. LPC1768 Sematik Tasarım(Altium Designer).....	77
EK 5. LPC1768 Kataloğu.....	78
EK 6. LTC6803-2 Kataloğu. ....	79
EK 7. ACS759 Kataloğu. ....	80
EK 8. LM35 Kataloğu. ....	81
EK 9. Recom R78-0.5 DC-DC Converter. ....	82
EK 10. MIC5205 LDO. ....	83
EK 11. 24C16 EEPROM. ....	84
EK 12. Analog Devices ADuM1401 Kataloğu. ....	85
EK 13. ST4485EB Kataloğu. ....	86
EK 14. SR3232EBDR Kataloğu.....	87

EK 15. SMA6J Transil.....	88
EK 16. Omron G5V-1 Röle.....	89
EK 17. Marata NFE61P.....	90
EK 18. Voltion BMS Haberleşme Protokolü.....	91
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>96</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

Şekil 2.1: Şarj-deşarj döngü sayısına göre batarya kapasitesinin azalması [17].....	9
Şekil 2.2: NCR18650B CC-CV Şarj Eğrisi[17].....	11
Şekil 2.3: NCR18650B Deşarj Akımı - Kapasite Eğrisi[17]. ....	13
Şekil 2.4: Gerilim-Sıcaklık Güvenli Çalışma Bölgesi. ....	14
Şekil 2.5: Akım-Sıcaklık Güvenli Çalışma Bölgesi.....	15
Şekil 2.6: Lityum İyon hücrelerde sıcaklığın batarya kapasitesine etkisi.....	15
Şekil 2.7: Lityum İyon hücrelerde sıcaklığın batarya ömrüne etkisi. ....	16
Şekil 2.8: Lityum-İyon Bataryalar OCV-SOC eğrisi.....	18
Şekil 2.9: Coulomb sayımı ile SOC kestirimi.....	19
Şekil 2.10: Ölçüm Hatasının SOC hesabı üzerine etkisi.....	20
Şekil 2.11: Coulomb Sayımı ve Gerilim Seviyesi yöntemlerinin bir arada kullanılması. ....	21
Şekil 2.12: Coloumb sayım sonucunun açık devre gerilimi ile kalibre edilmesi.....	22
Şekil 2.13: Bataryanın gerçek kapasitesinin ölçülmesi.....	24
Şekil 2.14: Batarya iç direncinin elektriksel eşdeğer devresi. ....	26
Şekil 2.15: Farklı dengeleme akımları kullanılarak, farklı kapasitelerdeki dengelenmiş batarya paketlerinin dengeleme zamanını gösteren grafik[1]. ....	28
Şekil 2.16: Farklı Şarj Durumlarında ki hücrelerin dengelenmesi. (a) En zayıf hücre, paketi sınırlandırıyor. (b) Batarya paketi en zayıf hücreye göre dengeleniyor (c) Dengeleme sonrası batarya paketi tam kapasite kullanılabilir. ....	29
Şekil 2.17: Farklı kapasitelerde üç adet aşağıda dengeli hücre. (a) dengelenmemiş. (b) Tam şarj edilmiş (c) Boş.....	29
Şekil 2.18: Farklı kapasitelerde üç üst dengeli hücre. (a) Dengelenmemiş, (b) Dengeli tam şarj edilmiş, (c) Boş.....	30
Şekil 2.19: Gerilime dayalı üst dengeleme algoritması. Bir hücre% 100 SOC'ye ulaştıktan sonra (a), BMS tarafından şarj durdurulur en düşük hücre % 80 SOC'den daha az ise % 80 SOC'den fazla olanlar % 80 SOC'ye kadardeşarj edilir(b, d). Bu durum sürekli tekrar edilir. Bir veya birkaç hücre% 100 SOC'ye ulaştığında(e), en	



düşük hücre % 80 SOC'den fazla ise tüm hücreler en düşük hücrenin gerilimine kadar deşarj edilir (f) . Bu durum tüm hücreler %100 SOC'ye ulaşana kadar tekrar edilir (g).	32
<b>Şekil 2.20:</b> Örnek pasif eşitleme devresi.	33
<b>Şekil 2.21:</b> Aktif dengeleme, Hücreden bataryaya(a), Bataryadan hücreye(b), Hücreden hücreye(c).	34
<b>Şekil 2.22:</b> Hareketli kapasite ile aktif eşitleme tekniği.	34
<b>Şekil 2.23:</b> Transformator kullanılan aktif eşitleme tekniği.	35
<b>Şekil 2.24:</b> Ayrı ayrı transformatorler kullanılarak aktif eşitleme tekniği.	35
<b>Şekil 2.25:</b> Ortak transformator kullanılan aktif eşitleme tekniği.	36
<b>Şekil 2.26:</b> Harici enerji kaynağı ile eşitleme topolojisi.	37
<b>Şekil 2.27:</b> Birden çok batarya paketi için harici güç kaynağı ile eşitleme tekniği.	37
<b>Şekil 2.28:</b> Merkezi tip batarya yönetim sistemi.	39
<b>Şekil 2.29:</b> Dağıtılmış tip batarya yönetim sistemi.	40
<b>Şekil 2.30:</b> Modül tip batarya yönetim sistemi.	41
<b>Şekil 3.1:</b> Batarya Yönetim Sistemi Blok Şeması.	42
<b>Şekil 3.2:</b> Güç Bloğu.	43
<b>Şekil 3.3:</b> LPC1768 Blok Diyagramı.	44
<b>Şekil 3.4:</b> Delta Sigma ADC örnekleme saniyede 1M örnektir [19].	46
<b>Şekil 3.5:</b> LTC6803-2 entegre devresi blok diyagramı [18].	48
<b>Şekil 3.6:</b> ADUM1401 Dijital İzolatör.	53
<b>Şekil 3.7:</b> ST4485EB RS485 entegresi.	54
<b>Şekil 3.8:</b> ST3232EBDR RS232 Entegresi.	55
<b>Şekil 3.9:</b> Akış şemaları.	58
<b>Şekil 3.10:</b> Checksum Algoritması.	59
<b>Şekil 3.11:</b> RS485-to-USB ve RS232-to-USB çeviriciler.	60
<b>Şekil 3.12:</b> Bilgisayar ara yüzü akış diyagramı.	61
<b>Şekil 3.13:</b> Bilgisayar ara yüzü ayarlar sayfası.	62

<b>Şekil 3.14:</b> Bilgisayar ara yüzü BMS takip sayfası.....	63
<b>Şekil 3.15:</b> Bilgisayar ara yüzü Konsol sayfası.....	64
<b>Şekil 4.1:</b> Tasarlanan Batarya Yönetim Sistemi. ....	65
<b>Şekil 4.2:</b> Tasarlanan Batarya yönetim sistemi, akım ve sıcaklık sensörleri. ....	66



## TABLO LİSTESİ

	<b>Sayfa No</b>
<b>Tablo 2.1:</b> Lityum İyon Batarya Çeşitleri ve Özellikleri.....	7
<b>Tablo 2.2:</b> Farklı Şarj Edilebilir Bataryaların Nominal Hücre Voltajı. ....	9
<b>Tablo 2.3:</b> SOC yöntemleri karşılaştırma tablosu[22].....	23
<b>Tablo 2.4:</b> Batarya iç empedans parametreleri. ....	26
<b>Tablo 3.1:</b> Median Filtre Tablosu. ....	56
<b>Tablo 4.1:</b> Gerilim Ölçümü Karşılaştırması. ....	66
<b>Tablo 4.2:</b> Gerilim Ölçümü Karşılaştırması. ....	67
<b>Tablo 4.3:</b> Akım Ölçümü Karşılaştırması.....	67

## SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Kisaltmalar	Açıklama
ADC	: Analog to Digital Converter (Analog Dijital Çevirici)
AGV	: Automated Guided Vehicle (Otomatik Yönlendirilmeli Araçlar)
ASCII	: American Standard Code for Information Interchange (Bilgi Değişimi Amerikan Standart Kodlama Sistemi)
BMS	: Battery Management System (Batarya Yönetim Sistemi)
CANBUS	: Controller Area Network Bus
CCV	: Close Circuit Voltage (Kapalı Devre Gerilimi)
CC-CV	: Constant Current- Constant Voltage (Sabit Akım-Sabit Gerilim)
DOD	: Depth of Discharge (Deşarj Durumu)
EA	: Elektrikli Araç
ESR	: Equivalent Series Resistance (Eşdeğer Seri Direnç)
I <sup>2</sup> C	: I squared C ( i kare c)
ICSP	: In Circuit Serial Programing (Devre Üstünde Seri Programlama)
İHA	: İnsansız Hava Aracı
LCO	: Lithium Cobalt Oxide
LFP	: Lithium Iron Phosphate
LMO	: Lithium Manganese Oxide
LTO	: Lithium Titanate Oxide
NCA	: Lithium Nickel Cobalt Aluminium Oxide
NMC(NCM)	: Lithium Nickel Cobalt Manganese Oxide
OCV	: Open Circuit Voltage (Açık Devre Gerilimi)
OV	: Over Voltage (Yüksek Gerilim)
OC	: Over Current (Yüksek Akım)
OT	: Over Temperature (Yüksek Sıcaklık)
ppm/°C	: Termal Katsayı
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genlik Modülasyonu)
RS232	: Recommended Standart 232 (Önerilen Standart 232)
RS485	: Recommended Standart 485 (Önerilen Standart 485)
SMD	: Surface Mount Diode ( Yüzey Montajlı Diyot)
SOA	: Safe Operating Area (Güvenli Çalışma Bölgesi)
SOC	: State of Charge (Şarj Durumu)
SOH	: State of Health (Sağlık Durumu)
SOIC	: Small Outline Integrated Circuit
SPI	: Serial Peripheral Interface (Seri Çevrebirim Arayüzü)
UART	: Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (Genel Asenkron Alıcı Verici)
UV	: Under Voltage (Düşük Gerilim)
UT	: Under Temperature (Düşük Sıcaklık)

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### LİTYUM TABANLI ENERJİ DEPOLAMA ÜNİTELERİ İÇİN BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ

**Orçun KARADENİZ**

**İstanbul Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman : Prof. Dr. İlhan KOCAARSLAN**

Bu tez kapsamında enerji depolama ünitelerinde kullanılan lityum iyon bataryaların teknik parametreleri, kimyasal özellikleri, güvenli çalışma koşulları teorik olarak incelenmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda lityum tabanlı enerji depolama ünitelerinde kullanılmak üzere endüstriyel bir batarya yönetim sistemi tasarımı için gerekli olan malzeme ve yöntemler araştırılmış.

Araştırmalar sonucunda modül topolojide bir batarya yönetim sisteminin tasarlanmasına karar verilmiştir. Bu kapsamda Lineer Teknoloji firmasının LTC6803-2 entegre BMS devresi ve NXP firmasının LPC1768 mikrodenetleyicisi kullanılarak enerji depolama ünitelerine yönelik bir batarya yönetim sistemi tasarlanmıştır.

Tasarlanan sistem, LTC6803-2 entegre devresi aracılığıyla her modül için seri bağlanmış 12 hücrenin gerilim ölçümünü ve pasif olarak dengelenmesini yapmaktadır. Her modül 2 adet LM35 sıcaklık sensörü ve 1 adet ACS769 akım sensörü girişine sahiptir. Ayrıca koruma fonksiyonlarını sağlamak için 2 adet röle çıkışı bulunmaktadır. BMS modülleri dış dünya ile iletişimini sahip olduğu 2 adet RS232 ve 2 adet RS485 portları üzerinden sağlamaktadır.

Geliştirilen sistem batarya paketinin güvenli çalışma bölgesinde kalmasını sağlamak için yüksek gerilim, düşük gerilim, yüksek sıcaklık, aşırı şarj ve aşırı deşarj akımı koruma özelliklerine sahiptir. Tez kapsamında batarya paketinin tüm koruma parametrelerinin

ayarlanması, sistem durumlarının izlenmesi ve kayıt altına alınması için bir kullanıcı ara yüzü tasarlanmıştır.

Ocak 2017, 112 sayfa.

**Anahtar kelimeler:** Enerji Depolama, Lityum-İyon Batarya, Batarya Yönetim Sistemi, Batarya İzleme, Batarya Dengeleme



## **SUMMARY**

### **M.Sc. THESIS**

#### **BATTERY MANAGEMENT SYSTEM DESIGN FOR LITHIUM BASED ENERGEY STORAGE UNITS**

**Orçun KARADENİZ**

**İstanbul University**

**Institute of Graduate Studies in Science and Engineering**

**Department of Electrical and Electronic Engineering**

**Supervisor : Prof. Dr. İlhan KOCAARSLAN**

In this thesis, technical parameters, chemical properties, safety operation area of lithium ion batteries used in energy storage units have been studied theoretically. In the direction of this information, materials and methods for designing an industrial battery management system for use in lithium-based energy storage units have been researched.

According to the results of the research, it was decided to design a battery management system in module topology. In this context, designed a battery management system for energy storage units using a combination of Linear Technology's LTC6803-2 integrated BMS circuit and NXP's LPC1768 microcontroller.

The system is designed to passively balance and measure voltage 12 cells connected in series for each module by LTC6803-2 integrated circuit. Each module has 2 LM35 temperature sensors and 1 ACS769 current sensor inputs. In addition, there are 2 relays outputs to provide protection functions. BMS modules provide communication with the the other devices by way of 2 RS232 and 2 RS485 ports.

The developed system has over voltage, under voltage, over temperature, over charging current and over discharging current protection features to ensure that the battery pack remains in the safety operation area. Within the scope of the thesis, a user interface is

designed for setting all protection parameters of the battery pack for monitoring and recording the system status.

January 2017, 112. pages.

**Keywords:** Energy Storage, Lithium-Ion Battery, Battery Management System, Battery Monitoring, Battery Balancing





## 1. GİRİŞ

Lityum tabanlı bataryalar yüksek enerji ve güç yoğunluğu, %100 e yakın Coulomb verimliliği, yüksek çevirim ömrü, düşük iç deşarj kapasitesi ve hafıza etkisinin olmaması özellikleriyle günümüzde elektriksel sistemlerin enerji ihtiyacını karşılamak için en ekonomik çözümlerdir[1]. Bu kapsamda lityum tabanlı bataryaların özellikle telekomünikasyon, tüketici elektroniği, yenilenebilir enerji, robotik ve elektrikli araç uygulamalarında enerji depolama ve güç kaynağı olarak kullanımı her geçen gün yaygınlaşmaktadır[2][3].

Lityum tabanlı bataryalar, sahip olduğu birçok avantajlı özelliğe rağmen hücre elektrokimyasal yapıları sebebiyle bir takım tasarım sınırlamalarına sahiptirler. Bunlar aşırı şarj, aşırı deşarj ve aşırı sıcaklık sınırlamalarıdır. Lityum batarya hücreleri bu kısıtlar gözetilmeden kullanıldıklarında ömürleri azalabilmekte ve hatta yanma, ergime, patlama gibi geri dönüşü mümkün olmayan kazalar gerçekleşebilmektedir. Bu sebeple lityum tabanlı bataryaların kullanıldığı enerji depolama ünitelerinde, sistemin güvenliğini sağlamak, servis ömrünü arttırmak, performansı iyileştirmek, bataryanın şarj ve sağlık durumlarını kontrol etmek ve dolayısıyla batarya paketini yönetmek için harici sistemlere ihtiyaç vardır. Bataryanın yönetimini sağlayan bu harici elektronik sistemlere literatürde Batarya Yönetim Sistemi (BMS) adı verilmektedir.

Özellikle şarj edilebilir bataryaların seri ve paralel bağlanarak kullanıldığı ve performans ihtiyacının çok önemli olduğu büyük boyutlu enerji depolama ünitelerinde, batarya yönetim sistemleri, pakette bulunan bütün hücrelerin gerilimlerini, sıcaklıklarını, şarj ve deşarj akımlarını, hücrelerin denge durumlarını sürekli izleyip kontrol altında tutmaktadır. Bataryanın kapasitesi ve sağlığıyla ilgili kestirimlerde bulunarak kullanıcının bataryanın durumu hakkında bilgilenmesini sağlamaktadır.

Her geçen gün artan kullanım alanlarına bağlı olarak Lityum bataryalar üzerine yapılan Ar-Ge çalışmaları da son yıllarda oldukça hızlanmıştır. Farklı katot ve anot materyalleri kullanılarak kapasite, enerji yoğunluğu, güç yoğunluğu, çalışma sıcaklığı, kullanım ömürleri gibi parametrelerde iyileştirilme çalışmaları yapılmaktadır. Batarya sektöründeki bu gelişmelere paralel olarak batarya yönetim sistemleri üzerine yapılan çalışmalar da oldukça artmıştır.

Yapılan literatür araştırılması sonucunda batarya yönetim sistemleri konusunda kullanılan birçok farklı yöntemin ve tasarımın olduğu görülmüştür.

Zheng [4] yapmış olduğu çalışmada, modül topolojide bir mimari kullanmıştır. Her modül 18-22 arası seri hücrenin ölçümünü yapabilmektedir. Uygulama örneğinde bu modüllerden dört adet kullanmıştır. Modüllerde kendi arasında ve diğer sistem bileşenleriyle CANBUS ile haberleşmektedir. Her modül diğer modüllerden bağımsız olarak hücre gerilimlerini, modül akımını ve sıcaklık değerlerini ölçebilmektedir. Ana modül yada bir diğer adıyla master modül ise toplanan verileri Kalman filteresi kullanarak işlemekte ve böylece SOC kestirimi yapmaktadır.

Conte [5] yapmış olduğu çalışmada, elektrikli demiryolu uygulamalarına yönelik, vagon ve lokomotiflerde bulunan batarya gruplarının durumlarının izlenmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Geliştirmiş olduğu batarya yönetim sistemini tramvaylardaki batarya paketlerinin sağlık durumu (SOH) tespiti için ölçüm sonuçlarının beklenen katalog değerleriyle ilişkisinin karşılaştırmasında kullanmıştır. Uygulamada kullanılacak en verimli batarya hücrelerinin belirlenmesi için birçok üreticinin hücreleri üzerine testler yapmıştır. Batarya yönetim sisteminin verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak için vagon ve lokomotiflerde bulun sürücü, çevirici gibi bataryadan beslenen diğer sistemler üzerinde testler yapmıştır. Sonuç olarak kullanacağı sistem için en uygun çalışma koşullarını belirlemiş, bu doğrultuda mevcut bataryaların gerçek kapasitelerini, kullanım sırasında batarya sıcaklığının maksimum değerlerini tespit etmiştir.

Qaisar [6] yapmış olduğu çalışmada, lityum tabanlı bataryalar için geliştireceği yönetim sisteminde özellikle elektrikli araç uygulamaları için geliştirilmiş olan Linear Technology firmasının LTC6802 ve Maxim Integrated firmalarının MAX11068 entegreleri devreleri üzerine çalışmalar yapmıştır. Çalışmasındaki amaç LTC6802 ve MAX11068 entegre devrelerini ölçüm ve performans açısından karşılaştırmaktır. Bu kapsamda üreticilerin deneme devreleri üzerinde testler yapmıştır. Çalışma sonucunda MAX11068 ve LTC6802 entegrelerinin kendi içlerinde avantaj ve dezavantajları ortaya konulmuştur. İleri de yapılacak çalışmalar için bir referans olması amaçlanmıştır.

Shi-qi [7] yapmış olduğu çalışmada, Linear Technology firmasının LTC6802 batarya yönetim sistemi entegre devresini kullanmıştır. LTC6802 ile her on iki seri bağlı batarya hücrelerinin gerilimi ölçebilen modüler yapıda bir sistem geliştirmiştir. Uygulama testlerinde de bu modüllerden üç tane kullanılarak seri bağlı 36 hücrenin geriliminin ölçümünü yapmıştır. Tasarımda elektriksel izolasyon için Analog Devices firmasının ADUM1411 entegresi kullanılmıştır. Proje sonucunda ADUM1411 ile veri iletişimi sağlığı testleri analiz edilmiştir.

Baronti [8] yapmış olduğu çalışmada, hücre dengeleme topolojileri üzerine incelemeler yapmıştır. Bu kapsamda süper kapasitörler kullanarak hücreden-hücreye, hücreden-batarya ve bataryadan-hücrelere çeşitli aktif eşitleme teknikleri üzerine çalışmalar yapmıştır. Gerilim değeri yüksek olan hücreler, DC-DC çeviriciler ile sahip oldukları enerjilerini öncelikle süper kapasitörlere aktarmış ve süper kapasitörler üzerinde elektrik alanda depolanan fazla enerji de kapasitesi düşük olan hücre gruplarına DC-DC çeviriciler üzerinden tekrar yönlendirilmiştir. Bu organizasyon anahtarlama devre elemanları yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda test çalışması yapılmış olan aktif dengeleme metotları karşılaştırılmıştır, kendi içlerinde avantaj ve dezavantajları ortaya koymuştur.

Miyamota [9] yapmış olduğu çalışmada, AGV adı verilen otomatik yönlendirilmeli elektrikli taşıma araçları için şarj durumu, menzil, kullanım yoğunluğu gibi parametrelerin belirlenmesi, analizi ve kestirim işlemlerini yaparak robotların servis kalitesini ve kullanım ömrünü arttırmaya yönelik bir batarya yönetim sisteminin geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Projede kullanılan otomatik yönlendirilmeli araçlar, bir operatör yönetimine ihtiyaç duymadan belirlenen güzergâhlar için yük taşımada kullanılmaktadırlar. Kontrol merkezinden kablosuz olarak kontrol edilen araçların şarj durumu (SOC) kontrol merkezi ekranlarında da aktif olarak takip edilebilmektedir. Çalışma kapsamında voltaj tablosu metodu kullanılarak hücrelerin OCV-SOC grafiği benzetilmiş ve matematiksel metotlarla kapasite kestirilmeye çalışılmıştır.

Bu tez çalışmasında yapılan literatür taramaları da dikkate alınarak elektrikli araçlar(EA), insansız hava taşıtları(İHA), otomatik yönlendirilmeli araçlar(AGV), Off-Grid(Şebeke bağımsız) yenilenebilir enerji sistemi ve telekomünikasyon uygulamalarında kullanılan enerji depolama üniteleri (ESS) için endüstriyel bir batarya yönetim sisteminin (BMS) tasarımı ve üretimiyle ilgili çalışmalar yapılacaktır. Bu kapsamda tez akışına bakıldığında Bölüm-2'de öncelikle yaygın olarak kullanılan Lityum batarya çeşitleri incelenmiş, bir batarya yönetim

sisteminin sahip olması gereken özellikler belirlenmiş ve tasarım için kullanılacak batarya yönetim sistemi topolojileri araştırılmıştır. Ardından Bölüm-3'te tasarlanan batarya yönetim sistemi ve kullanıcı ara yüzüne ait teknik özellikler belirtilmiştir. Bölüm-4'te üretilen batarya yönetim sistemine ait bulgular paylaşılmıştır. Son olarak Bölüm-5'te tez kapsamında yapılan çalışmalar tartışılmıştır.



## 2. GENEL KISIMLAR

Bu bölümde enerji depolama ünitelerinde kullanılan Lityum tabanlı bataryaların genel özellikleri, katot ve anot katkı maddelerine göre çeşitleri ve güvenli kullanım için gerekli koruma şartları incelenecektir. Bu bilgiler doğrultusunda enerji depolama ünitelerinin güvenli ve sağlıklı bir şekilde çalışması için gerekli olan yönetim sisteminin sahip olması gereken temel fonksiyonlar ve bu fonksiyonları gerçekleştirmek için kullanılacak BMS topolojileri incelenecektir.

### 2.1. LİTYUM BATARYALAR

Uygulamalar arasındaki farklılık göz önünde bulundurulduğunda batarya seçimini etkileyen parametreler sırasıyla aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

- Boyut
- Ağırlık
- Maliyet
- Güvenirlilik
- Performans
- Ömür

Lityum-İyon bataryalar özellikle boyut-ağırlık-ömür kısıtları göz önünde bulundurulduğunda kurşun asit, Ni-Cd, AGM, VRLA tip bataryalardan daha başarılı sonuçlar ortaya koymaktadır. Lityum-İyon bataryalar diğer kimyasal bataryalarla karşılaştırıldığında, kütle başına enerji yoğunluğu (Wh/kg) ve hacim başına enerji yoğunluğu (Wh/l) en yüksek piller olmasına rağmen içeriklerinde daha az metal barındırırlar[10]. Nikel metal bazlı bataryalarda karşılaşılan ve batarya ömrünü azaltan hafıza etkisi, Lityum iyon bataryalarda bulunmamaktadır. Günümüzde Lityum bataryalar yüksek enerji yoğunluğu gerektiren cep telefonları, laptoplar ve baz istasyonu uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Lityum bataryalar avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajlara da sahiptirler. Özellikle aşırı şarj ve aşırı ısınma durumlarına maruz bırakıldıklarında patlama veya yangın riski taşımaları Lityum bataryaların en önemli güvenlik problemleridir[11]. Bataryaların bu gibi olası

kazalardan korunması, sistem ömrünün ve güvenliğinin artırılması için ileride detayları anlatılacak olan Batarya Yönetim Sistemlerine ihtiyaç vardır[10].

### 2.1.1. Lityum Batarya Çeşitleri

İçerisinde Lityum İyonu bulunan tüm bataryalar Lityum-İyon batarya olarak adlandırılmaktadır. Ancak Lityum-İyon bataryalar katot ve anot katkı maddelerine göre kendi aralarında farklı kimyasal özellikler göstermektedir. Lityum-İyon bataryalar elektrokimyasal özelliklerine göre sırasıyla Lityum Kobalt Oksit (LCO), Lityum Manganez (LMO), Lityum Demir Fosfat (LFP), Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit (NMC), Lityum Nikel Kobalt Alüminyum Oksit (NMC) ve Lityum Titanat Oksit (LTO) olmak üzere 6 çeşittir. Tablo 2.1’de kimyasal yapılarına göre Lityum-İyon bataryaların teknik özellikleri karşılaştırılmıştır.

Lityum Kobalt (LCO) bataryalarda, ( $\text{LiCoO}_2$ ) Kobalt Oksit katot ve Grafit Karbon anot malzemesi olarak kullanılmaktadır. Şarj olurken Lityum iyonlarının yönü katottan anoda, deşarj işleminde ise anottan katoda doğrudur. Bu bataryalar yüksek enerji kapasitesi sağlamalarına rağmen, diğer Lityum-İyon bataryalara göre daha kısa ömürlü ve daha az güvenlidir. Lityum Kobalt bataryalar cep telefonları, laptoplar ve kameralar gibi taşınabilir cihazlarda kullanılmaktadır. Genellikle 0.8C - 1C aralığında şarj değeri olan Lityum kobalt bataryalara, bu değerden daha yüksek şarj işlemleri uygulanamaz. Bu değerlerin üzerinde şarj etmek, ısınmalara, patlamalarına ve batarya ömürlerinin kısılmasına neden olabilmektedir.

Katot malzemesi olarak Lityum Manganez Oksit ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ) kullanılan Lityum Manganez (LMO) bataryalar geometrik olarak üçlü spinal yapıdan oluşmaktadır. Bu yapı iyon akışını hızlandırmaktadır. İyon akışının hızlanması bataryanın iç direncini azaltmakta böylece akım kapasitesinin artmasını sağlamaktadır. Lityum Manganez bataryalar, yüksek güvenlik özellikleri ve yüksek sıcaklıklara karşı kararlılık göstermeleri açısından oldukça avantajlıdır. Lityum Kobalt bataryalarla karşılaştırıldığında daha kısa ömürlü olmalarına rağmen yüksek akımlarla şarj ve deşarj olabilmektedirler.

Lityum Demir Fosfat (LFP) bataryalarda ( $\text{LiFePO}_4$ ) katot malzemesi olarak Fosfat kullanılmaktadır. Bu bataryaların düşük iç direnç özellikleri sayesinde akım kapasiteleri yüksektir. Termal kararlılık ve güvenlik özelliklerinin yüksek olması bu bataryaların temel avantajlarından. Nominal hücre gerilimi 3.3V değerinde olan Lityum Fosfat bataryalar,

nominal hücre gerilimi 3.7V olan Lityum Kobalt bataryalara göre daha düşük enerji kapasitesine sahiptirler.

**Tablo 2.1:** Lityum İyon Batarya Çeşitleri ve Özellikleri.

	<b>ICR – LCO</b> (LiCoO <sub>2</sub> )	<b>IFR – LFP</b> (LiFePO <sub>4</sub> )	<b>LMO</b> (LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	<b>INR- NMC</b> (LiNiMnCoO <sub>2</sub> )	<b>NCA</b> (LiNiCoAlO <sub>2</sub> )	<b>LTO</b> (Li <sub>4</sub> Ti <sub>5</sub> O <sub>12</sub> )
<b>Çalışma Gerilim Aralığı</b>	3.0-4.2 V/Cell	2.5-3.65 V/Cell	3.0-4.2 V/Cell	2.5-4.2 V/Cell	2.7-4.2 V/Cell	1.8-2.85 V/Cell
<b>Nominal Gerilim</b>	3.6V	3.2V-3.3V	3.7V-3.8V	3.6V-3.7V	3.6V	2.4V
<b>Kapasite (Wh/kg)</b>	150-200	90-120	100-150	150-240	200-260	70-80
<b>Şarj Oranı</b>	0.7-1C	1C	3C	0.5-1C	0.7C	1-5C
<b>Deşarj Oranı</b>	10C	40C	30C	1-2C	1C	30C
<b>Ömür (Cycle)</b>	500 - 1000	1000 - 2000	300 - 700	1000 - 2000	500	3000 - 10000
<b>Uygulama</b>	Telefon, Tablet, Laptop, Kamera	UPS, E-Araç (Renault, Fisker, GE, Toyota)	Elektrikli el aletleri, Medikal	E-Bisiklet, Medikal, E-Araç, (Chevy Volt, BMW i3)	Medikal, E-Araçlar (Tesla)	UPS, E-Araç (Mitsubishi i-MiEV, Honda FitEV)
<b>Güvenlik</b>	3	5	4	4	3	5
<b>Enerji Yoğunluğu</b>	4	3	4	5	5	3
<b>Güç Yoğunluğu</b>	5	5	4	4	4	4
<b>Fiyat</b>	3	4	4	4	3	2
<b>Ömür</b>	3	5	3	4	4	5
<b>Performans</b>	4	4	3	4	4	5

Lityum Nikel Magnezyum Kobalt Oksit (NMC) bataryalar (LiNiMnCoO<sub>2</sub>), Nikel ve Manganezin birleşiminden oluşmaktadır. Nikel elementinin kararlılığı, Manganez elementinin ise bataryanın enerji kapasitesini arttırıcı etkisi düşüktür. Ancak Li-NMC bataryalarda, kararlılığı düşük olan Nikel elementi bataryaya yüksek enerji sağlarken, Nikel elementinin düşük kararlılığını Manganez elementinin 3 boyutlu spinal yapısı arttırmaktadır. Bu bataryalar

yüksek enerji veya yüksek güç gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır. Elektrikli araçlar, elektrikli bisikletler kullanım alanları arasındadır.

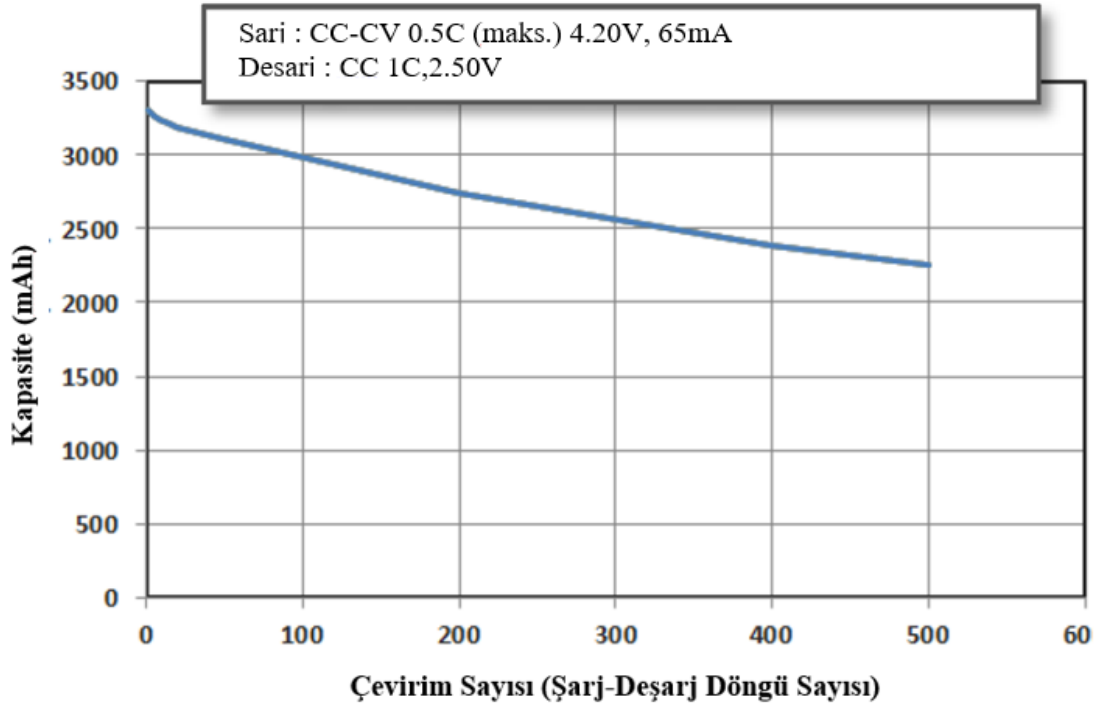
NCA (Lithium Nickel Cobalt Aluminium Oxide) ( $\text{LiNiCoAlO}_2$ ) bataryalar, yüksek güç ve enerji yoğunluğuna sahiptirler. Lityum nikel oksit materyali üzerine Alüminyum katkısıyla kararlılığı arttırılmış olan NCA bataryalar uzun ömürlüdürler. Özellikle medikal ve endüstriyel cihazlarda enerji depolama ünitesi uygulamalarında karşılaşılan hacim ve ağırlık kısıtları göz önünde bulundurulduğunda NCA bataryalar kendilerine geniş kullanım alanı bulabilmektedir. Bu avantajlarına karşılık düşük güvenlik kapasitesine sahip olan NCA bataryalar sürekli kontrol altında tutulması gerekmektedir. Günümüzde TESLA firmasının üretmiş olduğu elektrikli araçlar da ve birçok enerji depolama ünitesi uygulamalarında NCA bataryalar kullanılmaktadır.

Lityum Titanat Oksit ( $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ) bataryalarda (LTO), tipik lityum bataryalardan farklı olarak grafit yerine titanyum anot malzemesi olarak kullanılmaktadır. Katot malzemesi olarak lityum mangan oksit veya NMC de kullanılabilir. Bu bataryalar, spinal yapıları sayesinde iyon akışını arttırıcı bir özelliğe sahiptir. Yüksek şarj-deşarj kapasiteli Lityum Titanat bataryalar 10C'ye kadardeşarj akımına izin vermektedirler. Nominal hücre gerilimi 2.4V, maksimum hücre gerilimi 2.8V ve minimum 1.8V'dur. Düşük sıcaklıklarda bile yüksek performanslı olan Lityum Titanat bataryalar diğer lityum bataryalardan 10 kat daha uzun ömürlüdürler. Yüksek güvenlik, yüksek performans, uzun ömür özellikleri sebebiyle kg başına enerji kapasitesi dikkatte alındığında en pahalı lityum bataryalardır.

### **2.1.2.Lityum Bataryalarda Enerji Kapasitesi**

Batarya kapasitesi, bir bataryanın sağlayabileceği enerjiyi Amper-Saat (Ah) cinsinden belirten temel performans göstergesidir[13]. Genel olarak, batarya kapasitesine göredeşarj (şarj) yeteneğini değerlendirmek için C oranı kullanılmaktadır. İdeal bir durumda bir saat içinde, bir bataryanın sağlaması gereken akım 1C olarak ifade edilmektedir. Örneğin batarya kapasitesi 1C=3400mAh olan Panasonic NCR18650B bataryalar bir saat içinde 3400mA akım sağlamaktadır[17]. Çok sayıda şarj vedeşarj işlem döngüsü, zamanla bataryanın kapasitenin ve ömrünün azalmasına neden olmaktadır. Şekil 2.1'de Panasonic firmasının NCR18650B ürünü üzerinde kapasitesinin şarjdeşarj döngü sayısına göre değişimi gösterilmektedir.





Şekil 2.1: Şarj-deşarj döngü sayısına göre batarya kapasitesinin azalması [17].

### 2.1.3. Lityum Bataryaların Açık ve Kapalı Devre Hücre Gerilimleri

Açık devre batarya gerilimi, bir bataryanın şarj edilmezken veya bir yüke bağlı değilken sahip olduğu gerilim potansiyelini ifade etmektedir. Bataryanın, hücre başına açık devre gerilimi, şarj durumu ile ilişkilidir. Genellikle Lityum-İyon bataryaların nominal hücre gerilimi 3.6V-3.7V ve deşarj kesme gerilimi ise 2.5V-2.75V'tur. Deşarj kesme gerilim değeri, bir batarya hücresinin deşarj edilebileceği en düşük voltaj değerini ifade etmektedir. Hücre geriliminin deşarj kesme gerilim değerinin altında düştüğü durumlarda batarya elektrokimyasal yapısında kalıcı bozulmalar meydana gelebilmekte ve hatta bataryaya zarar görebilmektedir.

Tablo 2.2: Farklı Şarj Edilebilir Bataryaların Nominal Hücre Voltajı.

Batarya Tipleri	Nominal Hücre Gerilimi(V)
Kurşun Asit	2.0
Lityum-İyon	3.7
NiMH	1.2
NiCd	1.2

Tablo 2.2’de, Lityum-İyon bataryalar ile diğer şarj edilebilir bataryaların nominal hücre gerilimlerinin karşılaştırmasını göstermektedir. Tablo 2.2’de görüldüğü üzere Lityum-İyon bataryalar NiMH ve NiCd bataryalarının yaklaşık 3 katı, Kurşun Asit bataryaların yaklaşık 1,5 katı daha yüksek nominal gerilme sahiptir. Bu sebeple Lityum-İyon bataryalar yüksek gerilim ihtiyacını daha az seri hücre ile sağlayabilmektedirler.

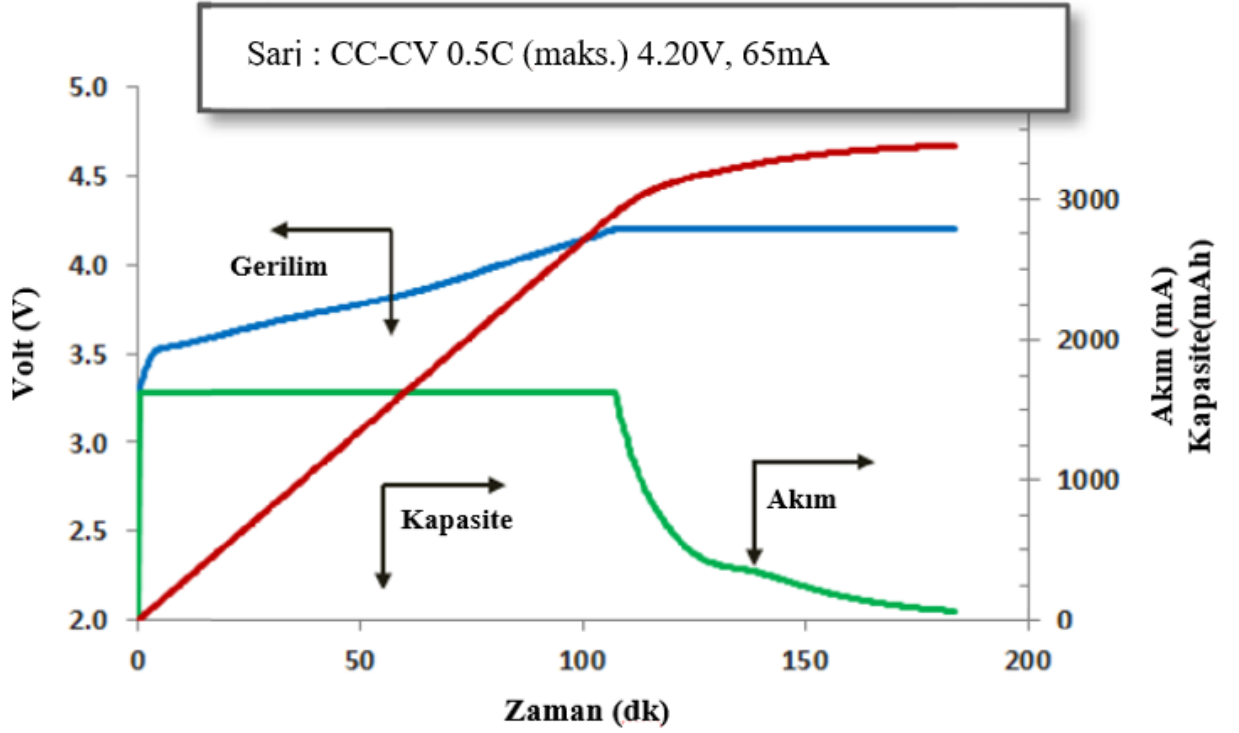
Lityum-İyon bataryaların hataya toleransı %1 den daha azdır. Yani kesme şarj gerilimi için maksimum değer 4.2V ise hata toleransı 0.042V’dur. Şarj işlemi esnasında bu sınır değeri aşan hücreler zarar görmektedir.

Kapalı devre gerilimi, bataryanın şarj veya deşarj işlemleri sırasında ölçülen gerilim değeridir. Kapalı bir döngü içerisinde olan bataryalarda dinamik bir gerilim değeri görülmektedir. Batarya iç direncine bağlı olarak eğer batarya deşarj ediliyor ise ölçülen gerilim değeri, açık devre gerilim değerinden daha küçük; şarj ediliyor ise de açık devre geriliminden daha büyük bir değer olarak ölçülür.

#### **2.1.4. Lityum Bataryaların Şarj ve Deşarjı**

Lityum bataryalarda şarj meselesi, batarya ömrü ve batarya performansı açısından oldukça önemli bir konudur. Doğru şarj yöntemleri pillerin daha sağlıklı ve uzun ömürlü olmasını sağlarken, yanlış şarj uygulamaları ise pillere zarar verebilmekte ve hatta tehlikeli kazaların meydana gelmesine sebep olabilmektedir.

Bir batarya şarj olurken, anottan katotta doğru bir iyon hareketi olur. Katotta ulaşan iyonlar burada birikmeye başlar, katot bölgesindeki biriken iyon miktarı arttıkça batarya şarj olmakta yani bataryanın sağladığı enerji kapasitesi de artmaktadır.



Şekil 2.2: NCR18650B CC-CV Şarj Eğrisi[17].

Lityum-İyon bataryalar şarj edilirken Sabit Akım (CC) - Sabit Voltaj (CV) metodu kullanılmaktadır[12][14][15]. Bu metoda göre batarya önce sabit bir akım değeriyle şarj edilmektedir. Sabit akım bölgesindeyken bataryanın gerilim değeri, hücre için belirlenen maksimum değere ulaşmaya kadar göreceli olarak keskin bir eğimle artmaktadır. Gerilim değeri maksimum değere ulaştığında, şarj cihazı çıkış gerilimini sabitlemektedir. Gerilim değerinin sabit olmasını sağlayabilmek için çıkış akım değeri gerilim geri beslemesiyle sürekli azaltılmaktadır. Şarj esnasında hücrenin kapalı devre gerilimi açık devre geriliminden daha yüksek olarak görülmektedir. Batarya hücrelerinin maksimum doluluk oranına ulaşabilmesini sağlamak adına çıkış akımını belirlenen geri besleme algoritmasına göre sürekli azaltılarak çıkış geriliminin sabit kalması sağlanmaktadır. Bu aşamaya doygunluk şarj aşaması adı verilmektedir. Kapalı devre gerilim değerinin açık devre gerilim değerine neredeyse eşit olduğu noktada şarj akımı tamamen kesilir ve şarj tamamlanmış olur. Şarj akımı için bu kesme akım değeri Lityum-İyon hücrelerde genellikle 0.02C'dir.

Lityum-İyon bataryaların şarjı için farklı metotlar bulunmaktadır. Standart şarj, genel şarj ve hızlı şarj metotları yaygın olarak kullanılmaktadır.

Standart şarj işlemi üretici tarafından önerilen ve batarya kimyasına en uygun şarj yöntemidir.

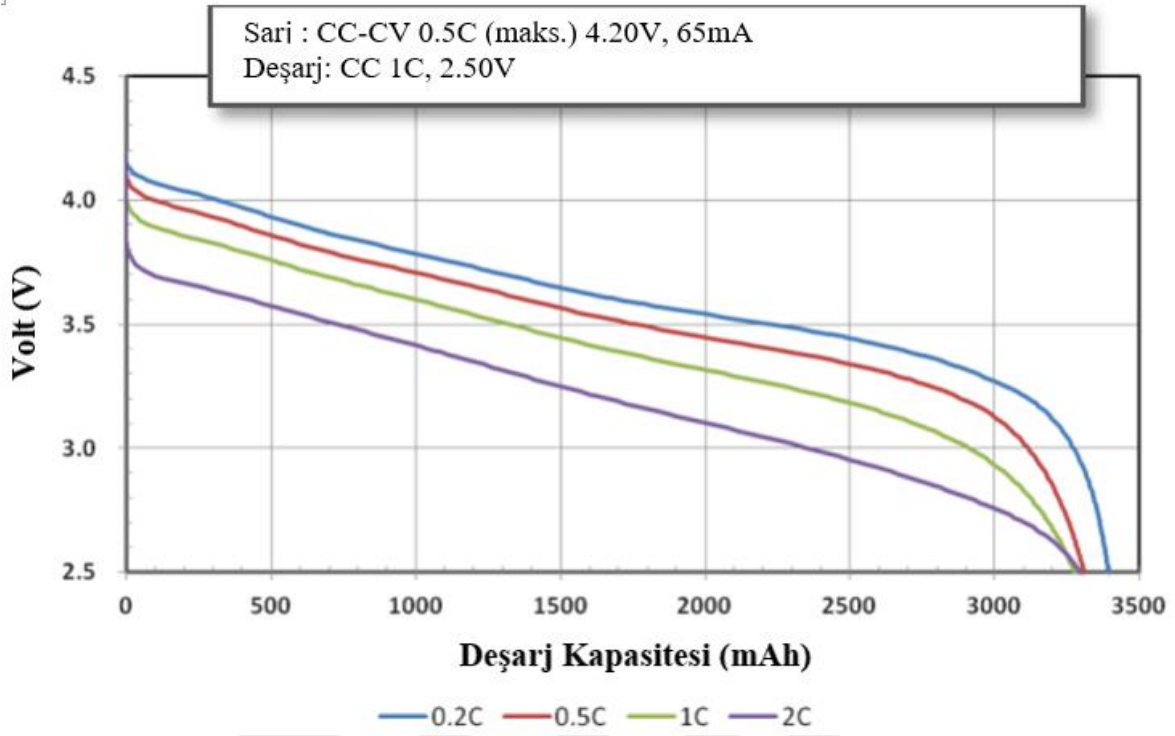
Genel şarj yönteminde, zaman tasarrufu sağlamak için bataryanın izin verdiği en yüksek şarj akım değeri kullanılmaktadır. Genel şarj yöntemi, standart şarj yöntemine göre bataryanın daha hızlı yaşlanmasına ve kullanım ömrünün azalmasına neden olmaktadır.

Hızlı şarj yönteminde, yüksek şarj akımı kullanılmaktadır ve bu değer standart şarj yönteminin 5 katıdır. Hızlı şarj yöntemi batarya ömrüne olumsuz yönde etkilerinden dolayı uzun kullanım ömrü gerektiren uygulamalarda genellikle tercih edilmeyen bir yöntemdir. Hızlı şarj yöntemi kullanım sırasında birçok riskler ve tehlikeler barındırmaktadır. Bu sebeple hızlı şarj yönteminin kullanıldığı uygulamalarda olası kazaların önlenmesi ve batarya güvenliğinin sağlanması için daha fazla tedbir almak gerekmektedir.

Şekil 2.2 de görüldüğü üzere NCR18650B bataryanın standart şarj yöntemiyle şarj olması için sabit akım değeri  $0.5C(1625mA)$  ve sabit gerilim değeri  $4.2V$ , şarj tamamlandığında son kapatma durumu için kesme akımı  $0.02C(65mA)$ 'dir. Genel şarj yönteminde ise sabit akım değeri  $1C(3250mA)$ , sabit gerilim değeri  $4.2V$  ve kesme akımı  $0.1C(325mA)$ 'dir. Genel şarj yönteminde  $1C$  bir akım değeriyle, batarya en yüksek gerilim değerine hızlı bir şekilde ulaşmakta ancak şarj işlemi tam olarak gerçekleşmemektedir. Maksimum kapasiteye ulaşmak için bataryanın doygunluk aşamasında daha uzun süre kalması gerekmektedir. Yani maksimum gerilim değeri maksimum kapasiteye her zaman eşit değildir.

Lityum-İyon bataryaların deşarj işlemi sırasında da dikkat edilmesi gereken bazı önemli durumlar vardır. Lityum-İyon bataryaların maksimum deşarj akım değeri bataryanın modeline, kontak yapısına, kimyasal özelliğine göre  $0.5C$ 'den  $30C$ 'ye kadar değişiklik gösterebilmektedir. Üretici tarafından belirlenen maksimum deşarj akımı değerinin üzerine çıkıldığı durumlarda, bataryalar termal hasarlar alabilmektedir. Buna ek olarak hücrelerin elektrokimyasal yapıları bozulabilmektedir. Bu durumlar da batarya hücreleri için kalıcı bozulmalara neden olabilmektedir.

Deşarj işlemi sırasında oluşan termal enerji, bataryada depolanan enerjiden elde edilmektedir. Akım değerinin yüksek olması, termal enerjinin fazla olmasına sebep olmaktadır. Bu durum da bataryanın efektif kullanılabilir kapasitesinin düşmesine neden olmaktadır. Şekil 2.3'te Panasonic NCR18650B Lityum-İyon hücresinin, farklı deşarj akımlarına göre batarya kapasitesi ve kapalı devre gerilimindeki değişimler gösterilmiştir.



Şekil 2.3: NCR18650B Deşarj Akımı - Kapasite Eğrisi[17].

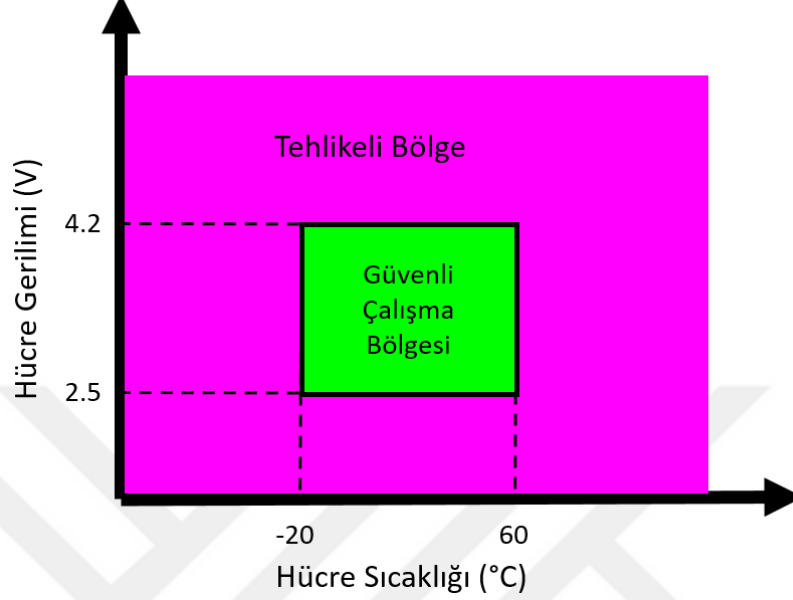
Aşırı şarj ve aşırı deşarj işlemi, bataryalara zarar vermektedir. Bir batarya hücresi maksimum şarj değerine ulaştığında, anotta biriken Lityum-İyonları tamamen doyuma ulaşmış demektir. Şarj işleminin devam etmesi, doymuş iyonların uyarılmaya devam edilmesi anlamına gelmektedir. Bu durum bataryaların aşırı ısınmasına sebep olmaktadır. Bataryaların aşırı ısınması sonucu patlama, yangın gibi güvenlik problemleri oluşabilmektedir.

Bir batarya hücresinin minimum hücre gerilim değerinden daha düşük bir değerde deşarj işlemine devam edilirse, bataryalarda kalan enerji hızlı bir şekilde boşalmaktadır. Bu durum sonucunda hücrelerin iç yapısında Lityum dendritler oluşmaktadır. Bu dendritler bataryanın anot ve katot bölgeleri arasında birikerek hücrenin kısa devre olmasına yol açmaktadır. Kısa devre olan bataryalar zarar görmektedirler ve kullanılmaz duruma gelmektedirler.

### 2.1.5. Lityum Bataryalarda Güvenli Çalışma Bölgesi

Sıcaklık ve gerilim, Lityum batarya hücrelerinin performansını belirleyen en önemli parametrelerdir[16]. Şekil 2.4 ve Şekil 2.5 hücreler için belirlenen gerilim, akım ve sıcaklık sınır değerlerini ve batarya hücrelerinin "Güvenli Çalışma Bölgesi" adı verilen yeşil bölge ile

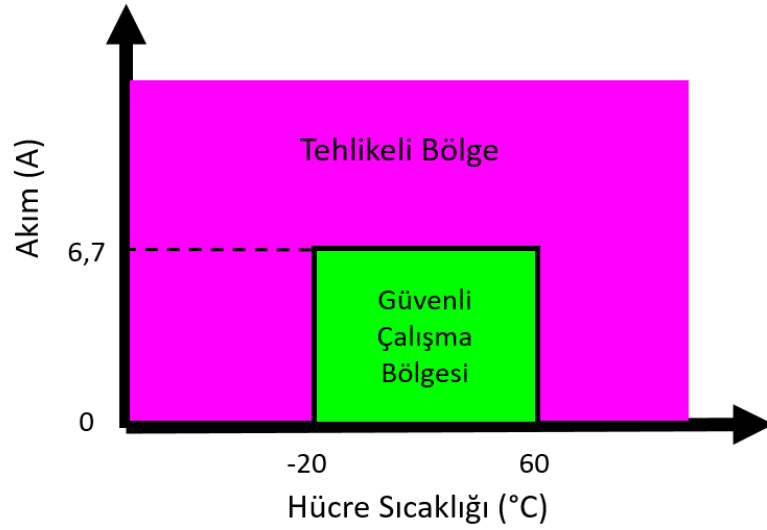
belirtilmiş alan içerisinde kullanılması gerektiğini göstermektedir. Bir hücrenin güvenli çalışma bölgesi dışında kullanılması hücrenin kalıcı zarar görmesine neden olabilmektedir.



Şekil 2.4: Gerilim-Sıcaklık Güvenli Çalışma Bölgesi.

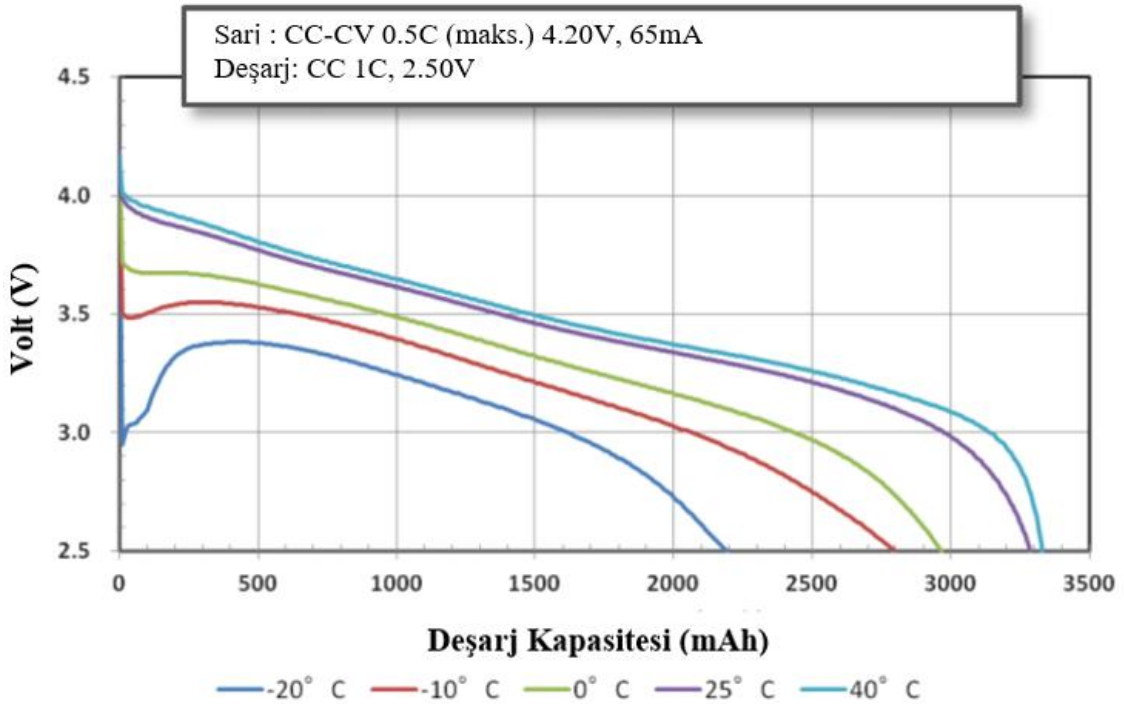
Lityum hücreler aşırı voltaja (OverVoltage) maruz kaldıkları zaman hücrelerin anodu üzerinde metalik Lityum kaplamalar oluşur. Bu esnada katot malzemesi üzerinde Oksidasyon başlar, stabilizasyon azalır ve Karbondioksit (CO<sub>2</sub>) üretilir. Hücre içi basıncın artmasına neden olan bu durum hücrede şişme, ergime, yanma veya patlamaya neden olabilmektedir.

Lityum hücreler aşırı deşarja ya da düşük voltaja (OverDischarge/UnderVoltage) maruz kaldıklarında da akım toplayıcı anot bakırına elektrolit ilavesi başlar. Bu durum da hücrenin kendi üzerine deşarj olma oranını arttırır. Eğer hücreler aşırı deşarja maruz kaldıktan sonra tekrar şarj edilirlerse elektrolit içerisinde iyice dağılmış bakır iyonları çökelmeye başlar. Bu durum pil kapasitesini önemli oranda düşürür ve hatta pil elektrotlarının kısa devre olmasına bile neden olabilmektedir. Aşırı deşarj batarya hücrelerin ölmesine, batarya sağlığının bozulmasına ve geri dönüşü olmayan kazaların meydana gelmesine neden olabilmektedir. Bu sebeple Lityum tabanlı hücrelerin kullanıldığı pil paketlerinde yüksek gerilim ve düşük gerilim koruması sistem ömrünü uzatmak ve batarya sağlığını korumak için oldukça önemlidir.



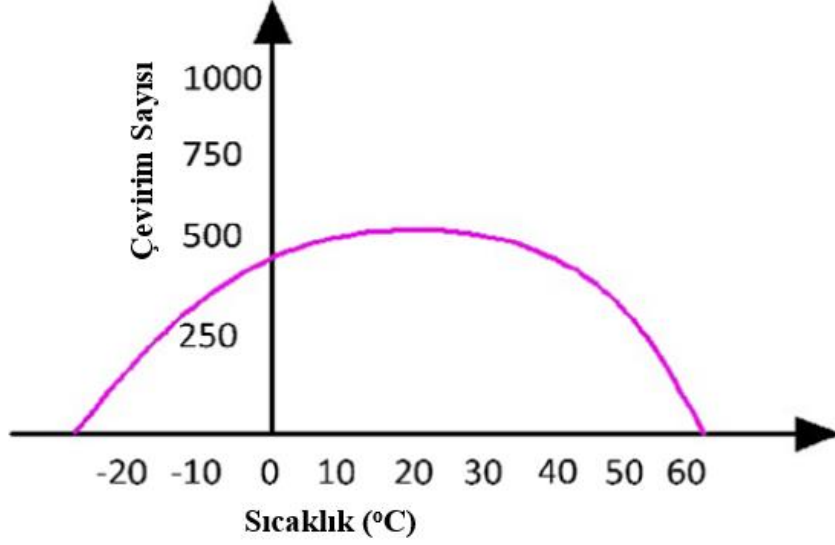
Şekil 2.5: Akım-Sıcaklık Güvenli Çalışma Bölgesi.

Lityum-İyon bataryaların yüksek veya düşük sıcaklıklarda kullanılmaları bataryaların kullanılabilir enerji kapasitesini doğrudan etkilemektedir. Şekil 2.6'da görüldüğü üzere  $-20^{\circ}\text{C}$ 'de deşarj edilen bataryanın kapasitesi oldukça düşüktür. Batarya bu koşullar altında kullanılmaya devam edilirse kullanılabilir kapasitesi hızla düşecek ve standart beklenen ömrü azalacaktır. Bataryanın ömrünün artırılması ve batarya güvenliğinin sağlanması için sıcaklık değerleri sürekli kontrol altında tutulmalıdır. Aksi takdirde batarya hücreleri zarar görebilmekte, patlama, erime gibi çevresel kazalar meydana gelebilmektedir.



Şekil 2.6: Lityum İyon hücrelerde sıcaklığın batarya kapasitesine etkisi.

Gerilim ve sıcaklığın hücre performansı üzerindeki etkisi hemen görülür iken, hücrelerin yaşam döngüsü üzerindeki etkileri açıkça görülememektedir. Kümülatif olarak toplanan bu ve benzeri hasarlar hücrelerin ömrünü doğrudan etkilemektedir. Şekil 2.7’de sürekli çalışma sıcaklığı 10°C’nin altına düştüğünde hücrenin yaşam döngüsünün azaldığını göstermektedir. Benzer şekilde, sıcaklık 40°C ve üzerine çıktığında da yaşam döngüsü azalmaktadır.



Şekil 2.7: Lityum İyon hücrelerde sıcaklığın batarya ömrüne etkisi.

## 2.2.BATARYA YÖNETİM SİSTEMLERİ VE FONKSİYONLARI

Lityum tabanlı bataryalar, sahip olduğu birçok avantajlı özelliğe rağmen hücre elektrokimyasal yapıları sebebiyle güvenli kullanımlarını sağlamak için bir takım sınırlara sahiptirler. Batarya hücreleri bu kısıtlar gözetilmeden kullanıldıklarında ömürleri azalabilmekte ve hatta yanma, ergime, patlama gibi geri dönüşü mümkün olmayan kazalar gerçekleşebilmektedir. Bu sebeple lityum tabanlı bataryaların kullanıldığı enerji depolama ünitelerinde bataryanın güvenliğini sağlamak, servis ömrünü arttırmak, hücrelerin şarj ve sağlık durumlarını kontrol etmek batarya performansını iyileştirmek ve dolayısıyla bataryayı yönetmek için Batarya Yönetim Sistemlerine (BMS) ihtiyaç vardır.

Bu bölümde bir batarya yönetim sisteminin sahip olması gereken özellikler güncel literatürle karşılaştırmalar yapılarak incelenecektir.



### 2.2.1. Deşarj Kontrol

Bir batarya yönetim sistemlerinin temel amacı bataryanın güvenli çalışma bölgesinde kalmasını sağlamaktır. Bu sebeple batarya yönetim sistemi özellikle deşarj sırasında oluşabilecek düşük gerilim yüksek sıcaklık ya da aşırı deşarj akımı durumlarına karşı batarya paketini korumalıdır. Gerekli durumlarda deşarj işlemini kesmeli veya deşarj işlemini hiç başlatmamalıdır. Aksi takdirde hücreler güvenli çalışma bölgesi dışına çıkabilir ve zarar görebilirler.

### 2.2.2. Şarj Kontrol

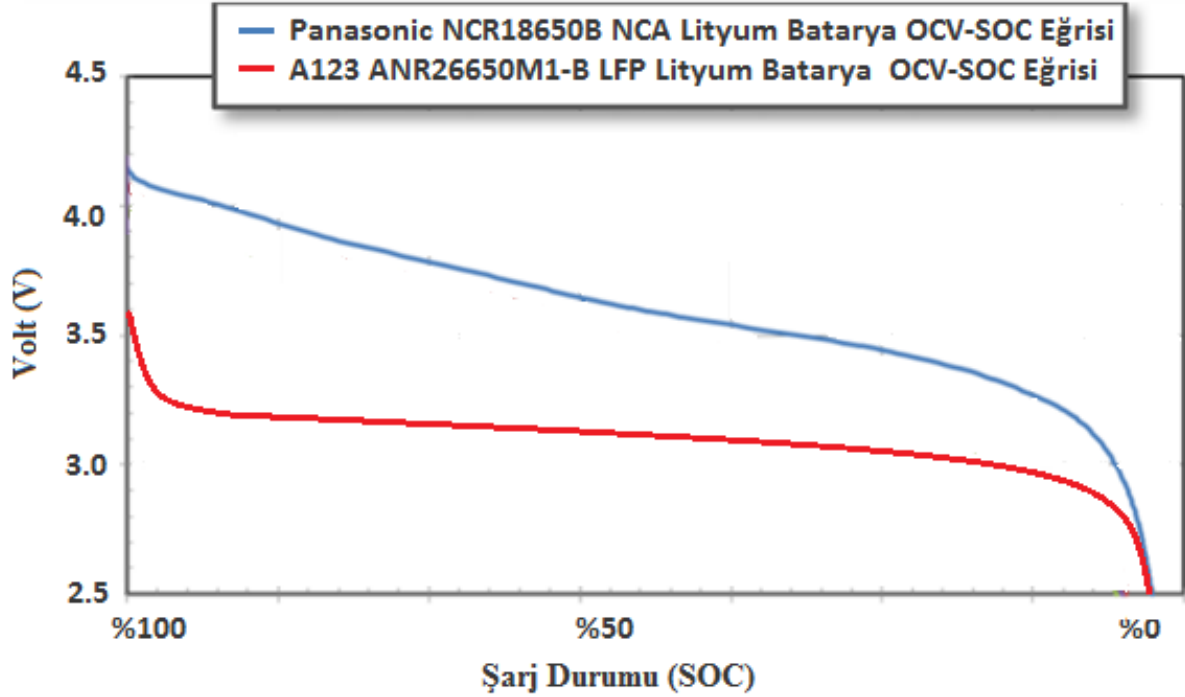
Bataryalar, diğer nedenlere kıyasla uygun olmayan şarj uygulamaları sebebiyle daha fazla zarar görebilmektedir. Bu sebeple şarj kontrolü batarya yönetim sisteminin sağlaması gereken önemli bir fonksiyondur. Lityum bataryalarda şarj işlemi için, sabit akım ve sabit gerilim (CC-CV) yöntemi olarak adlandırılan iki kademeli bir şarj yöntemi kullanılmaktadır. Birinci şarj aşamasında (sabit akım kademesi) şarj cihazı, batarya gerilimini arttıran sabit bir akım üretmektedir. Batarya gerilimi belirlenen sabit bir değere ulaştığında veya batarya neredeyse dolduğunda, sabit gerilim aşamasına geçilmektedir. Bu aşamada şarj cihazı, çıkış akımını sürekli azalttığı için şarj bitene kadar batarya gerilimi sabit kalmaktadır. Batarya yönetim sistemi batarya hücreleri için en uygun şarj akımını, şarj için maksimum gerilim noktasını, şarj için en uygun sıcaklık değerlerini harici şarj istasyonlarına bildirebilmelidir. Duruma göre şarjı doğrudan kesebilecek kabiliyette olması gerekmektedir.

### 2.2.3. Hesaplamalar

Bir batarya yönetim sisteminin bataryayla ilgili şarj durumu (SOC), deşarj durumu (DOD), iç direnç, kapasite ve sağlık durumu (SOH) parametrelerini hesaplama kapasitesine sahip olması batarya paketinin güvenli ve uzun ömürlü çalışmasını sağlayabilmek için oldukça önemlidir. Bu hesaplamalar, kullanıcıya batarya paketi hakkında bilgi verilmesini sağlamanın yanı sıra batarya yönetim sisteminin yönetim ve koruma fonksiyonlarını yerine getirmesi içinde gereklidir. Örneğin, şarj durumu (SOC) bilgisiyle batarya içindeki kalan enerji miktarını öğrenebilmenin yanı sıra seri hücreler arasında oluşan kapasite farklılıkların dengelenmesi içinde bu bilgi kullanılabilir. Buna ek olarak sağlık durumu (SOH) kestirimiyle batarya sisteminin kalan yaşam ömrü tahin edilebilmektedir. Böylece servis ihtiyacı konusunda kullanıcıların önceden bilgilenebilmesi sağlanabilmektedir.

### 2.2.3.1.Şarj ve Deşarj Durumu Hesaplamaları

Bataryaların kullanıldığı uygulamalarda sistemin ne kadar daha çalışacağını bilmek veya bataryanın şarj durumunu takip etmek oldukça önemlidir. Şarj ve deşarj durumunu ölçmenin birçok yöntemi bulunmaktadır. Ancak bu yöntemlerin hepsi tahmini sonuç vermektedir. Lityum bataryalar için de bu parametreler belirli bir hata oranı içerisinde tahmin edilebilmektedir.

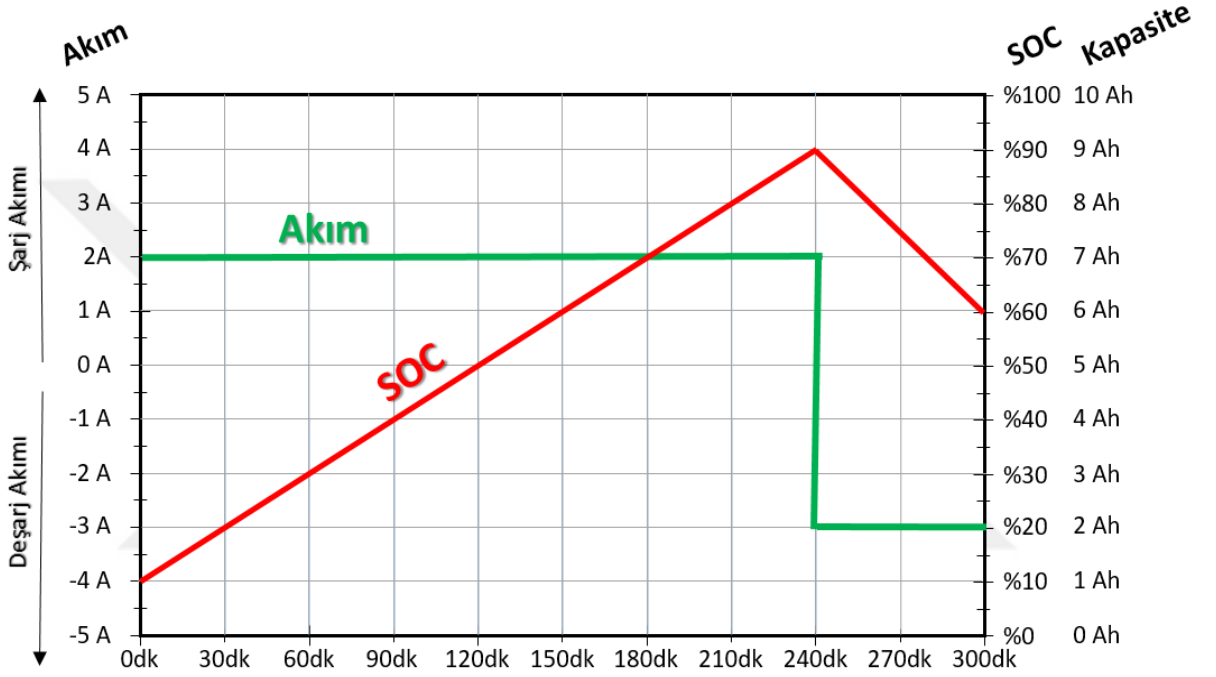


Şekil 2.8: Lityum-İyon Bataryalar OCV-SOC eğrisi.

Lityum bataryalarda hücre açık devre gerilim değerleri, bataryaların elektrokimyasal özellikleri sayesinde kapasiteye bağlı olarak, belli bir bölgede neredeyse lineer bir şekilde değişmektedir. Şekil 2.8'de Panasonic NCR18650B (NCA) ve A123 ANR26650M1-B (LFP) Lityum batarya hücrelerinin açık devre gerilimleri ve şarj durumları (OCV-SOC) arasındaki ilişki görülmektedir. OCV-SOC ilişkisinden anlaşılacağı üzere doğru test ve incelemelerin yapılmasıyla hücre gerilimi bilgisiyle bataryanın sahip olduğu enerji miktarının yaklaşık olarak kestirilmesi sağlanabilmektedir. Bu yöntemle literatürde voltaj tablosu (veya gerilim seviyesi) yöntemi denilmektedir.

Hücre açık devre gerilimi birçok parametreye bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Şekil 2.6'da ortam sıcaklığının hücre kapasitesi ve hücre açık devre gerilimi üzerine etkilerinden bahsedilmişti. Bu sebeple sadece açık devre gerilimine bakılarak yapılacak olan

SOC kestirimleri doğru sonuçlar üretmek için yeterli değildir. Ortam sıcaklığı, hücrenin şarj veya deşarj işlemlerinden sonra beklemede kaldığı süreler gibi bazı parametrelerin tespit edilmesi, şarj durumunun (SOC) daha doğru şekilde hesaplanmasını sağlamaktadır. Ancak her işlemde bu parametreleri hesaplamak ve şarj durumu kestirimi yapmak oldukça zor bir süreçtir. Bu sebeple bu yönetim kullanıldığı uygulamalarda genellikle en önemli adım açık devre gerilimini olabildiğince hassas ve yüksek doğrulukta ölçmektir.



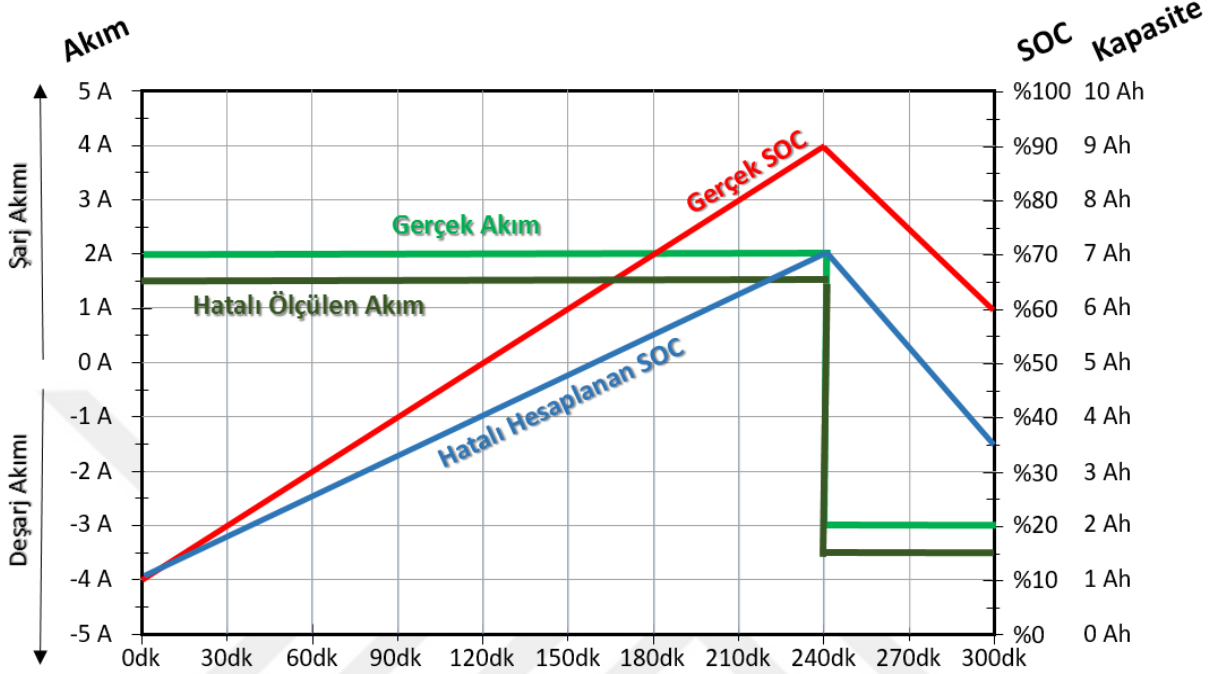
Şekil 2.9: Coulomb sayımı ile SOC kestirimi.

Lityum hücreler zamanla yaşlanmakta ve buna bağlı olarak enerji depolayabilme kapasiteleri, OCV-SOC arasındaki ilişkiyi gösteren standart tablo değerleri değişmektedir. Bu sebeple voltaj tablosu metodunun kullanıldığı uygulamalarda tablonun zaman içinde pilin değişen kapasitesine göre güncellenmesi şarj durumu kestirimi için oldukça faydalı olmaktadır.

Batarya paketinden birim zamanda çekilen akım değerlerinin kullanılmasıyla da şarj durumunun tespit edilmesi mümkün olabilmektedir. Bu yönetime Coulomb sayım metodu ile SOC kestirimi denilmektedir.

Coulomb sayım metodunda doğru şarj durumunun tespit edilebilmesi için öncelikle bataryanın mevcut SOC durumu ve toplam kapasitesi bilinmelidir. Bu başlangıç referans noktasına göre

bataryaya giren ve çıkan akım değerleri ölçülerek şarj durumu güncellenerek SOC kestirimleri yapılmaktadır.



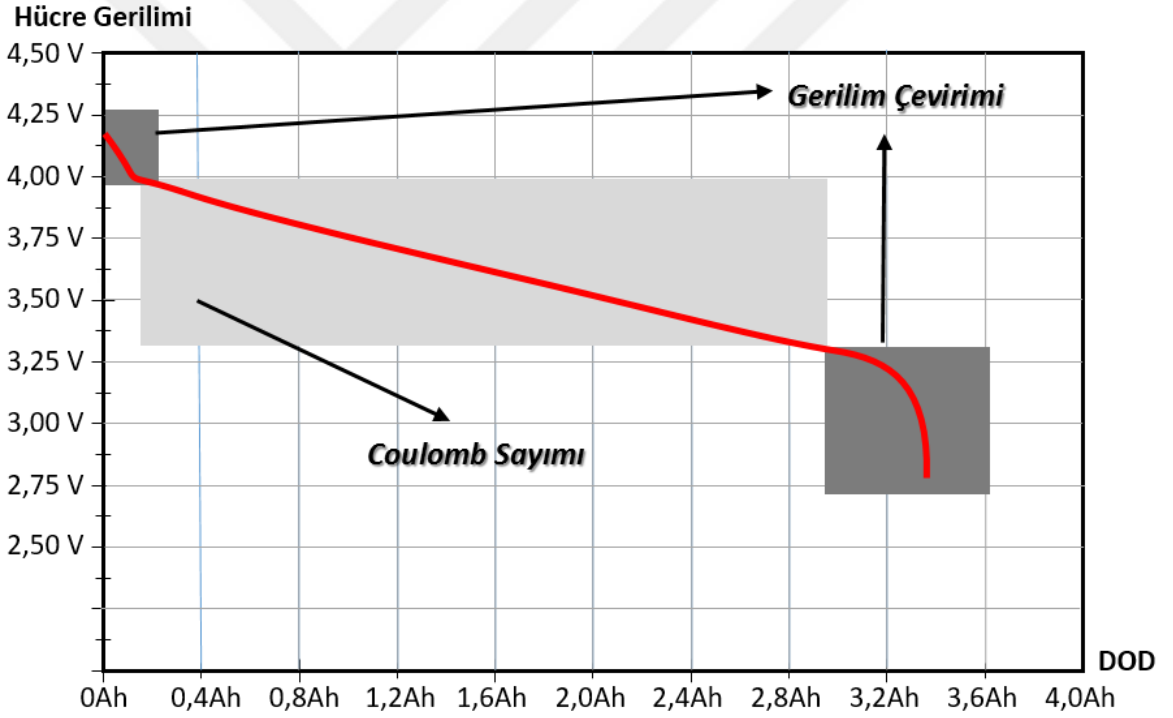
Şekil 2.10: Ölçüm Hatasının SOC hesabı üzerine etkisi.

Örneğin Şekil 2.9'da başlangıçta %10 SOC'da, 10Ah kapasiteli bir bataryayı ele alalım. Bu batarya 4 saat sürecinde sabit 2A ile şarj edilirse, 8Ah şarj edilmiş olacak ve yeni toplam kapasite 9Ah (%90 SOC) olacaktır. Benzer bir şekilde aynı batarya şarj işlemi sonrasında 1 saat boyunca sabit 3A ile deşarj edildiğinde yeni toplam kapasite 6Ah (%60 SOC) olacaktır. Örnekten görüldüğü üzere Coulomb sayımı metodunun kullanıldığı uygulamalarda başlangıç kapasitesi ve toplam batarya kapasitesi hafızada tutulmalı ve işlemler sırasında kullanılmalıdır.

Coulomb sayımı sayesinde batarya kapasitesinin belirlenmesi için daha yüksek doğrulukta kestirimler yapılabilmesine rağmen bu yöntemde kendi içinde eksik kalan bazı noktaları bulunmaktadır. Örneğin batarya hücrelerindeki kaçak akımın hesaplara dâhil edilememesi ve akım değerini belirlemede kullanılan sensörün ölçüm hatası veya doğru sonuç vermemesi Coulomb sayımı yöntemiyle kapasite kestiriminin doğru yapılamamasına neden olabilmektedir. Şekil 2.10'da yukarıda verilen örnek için şarj ve deşarj sırasında -500mA'lik bir ölçüm hatasının yol açtığı problem görülmektedir.

Lityum iyon bataryalarda kaçak akım değeri genel olarak düşüktür. Dolayısıyla kaçak akımın SOC kestirimine etkisi, akım ölçümünde yapılabilecek hatadan daha azdır. Bu sebeple şarj durumu belirlenirken eğer akım ölçümü yüksek hassasiyetli sensörler ile yapıldığında Coulomb sayımı yöntemini kullanmak diğer metotlara nazaran oldukça avantajlıdır.

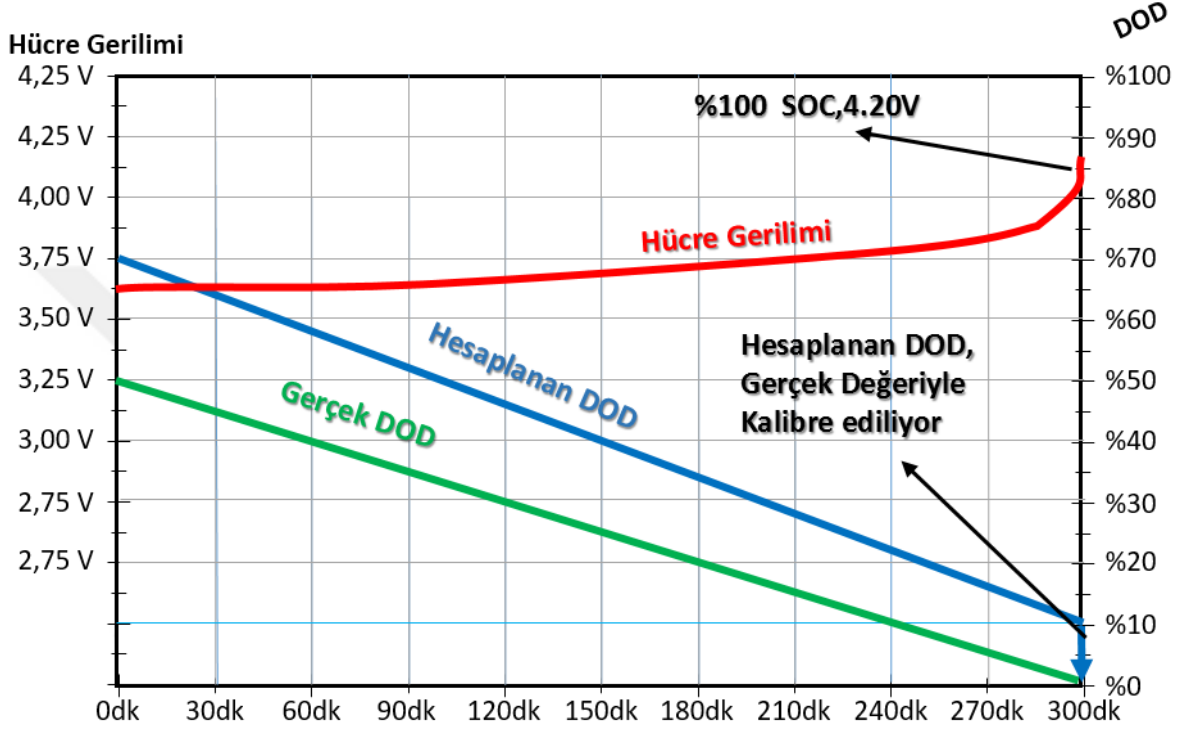
Yaşlanmış hücrelerde toplam hücre kapasitesi azalmaktadır. Bu sebeple Coulomb sayımı metodu kullanırken bataryanın kapasitesinin zamanla değişeceği göz önünde bulundurup, belli aralıklarda toplam batarya kapasitesi referansının güncellenmesi kestirimlerin doğruluk oranını arttıracaktır. Şimdiye kadar Coulomb Sayımı ve Gerilim Seviyesi yöntemlerinin artı ve eksi yönleri açıklanmıştır. Ancak batarya paketinin şarj ve deşarj durumunun tespit edilmesi için bu iki yöntemin birlikte kullanılması kestirim doğruluğunu arttırabilmektedir.



Şekil 2.11: Coulomb Sayımı ve Gerilim Seviyesi yöntemlerinin bir arada kullanılması.

Şekil 2.11'de Coulomb sayımı ve voltaj tablosu birlikte kullanıldığı bir örnek görülmektedir. Kapasiteye bağlı hücre açık devre geriliminin, 4,00 V - 3,30V arasında lineer olduğu görülmektedir. Bu bölge batarya kapasitesinin yaklaşık olarak %80'lik kısmına karşılık gelmektedir. Batarya paketi maksimum veya minimum gerilim değerine ulaştıkça, açık devre gerilim değerleri hızlıca değişmektedir. Bu noktalarda Coulomb sayımı yöntemi yerine gerilim seviyesi yönteminin kullanılması daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır[1].

İki yöntemin birlikte kullanıldığı durumlarda batarya açık devre gerilimi (OCV) sürekli kontrol edilmektedir. OCV-DOD eğrisi lineerliğini kaybettiği aralıkta voltaj tablosu metodu kullanılarak kapasite kestirimi yapılmaktadır. Böylece bataryanın güvenli çalışma bölgesinde (SOA) kalması sağlanmaktadır.



**Şekil 2.12:** Coulomb sayım sonucunun açık devre gerilimi ile kalibre edilmesi.

Bataryanın zamanla değişen kapasitesi, açık devre gerilimi ile karşılaştırılarak kalibre edilmelidir. Kalibrasyon işlemi Coulomb sayımında gerekli olan referans değerlerini günceller ve böylece ölçüm hataları büyük ölçüde azaltılmış olur. Şekil 2.12’de kalibrasyon işlemi görülmektedir. Başlangıçta SOC durumu hatalı bilinmeyen bir hücrenin, şarj sırasında gerilimi 4.20V’a ulaştığında DOD değeri güncellenmiştir. Tablo 2.3’te literatürdeki SOC kestirim yöntemlerinin avantaj, dezavantaj ve kullanım alanları karşılaştırması yapılmıştır.

**Tablo 2.3:** SOC yöntemleri karşılaştırma tablosu[22].

Yöntem	Avantaj	Dezavantaj	Uygulama Alanı
Look-Up Tablosu	Kolay uygulanır	Çevirim dışı veriler, batarya ve çalışma koşullarına duyarlı	Ni-Cd
Deşarj Testi	Kolay uygulanır, yüksek doğruluk	Çevirim dışı veriler, Uzun zaman	Kapasite belirlemek için kullanılır
Elektrolitin Fiziksel Özelliği	Çevrimiçi veriler, SOH hakkında bilgi	Sıcaklığa ve yabancı maddelere duyarlı	Kurşun-Asit, ZnBr
Coup De Fouet	Batarya tahmini		Kurşun-Asit,
Doğrusal Model	Çevirim içi veriler, kolay uygulanır	Parametreler için referans veri gerekli, batarya ve çalışma koşullarına duyarlı	Kurşun-Asit, ZnBr
Empedans Spektroskopisi	SOH ve kalite hakkında bilgi	Sıcaklığa duyarlı, yüksek maliyet	Tüm bataryalar
İç Direnç	SOH hakkında bilgi, çevrimiçi olabilir	Ancak kısa sürelerde iyi doğruluk	Kurşun-Asit, Lityum, Ni-Cd
Fuzzy Lojik	Online yöntem	Batarya ve çalışma koşullarına duyarlı	Kurşun-Asit
Yapay Sinir Ağları	Online yöntem	Batarya verilerinin öğretilmesi lazım, Yavaş kestirim	Tüm bataryalar
Açık Devre Voltajı	Online yöntem, ucuz	Uzun dinlenme süresine ihtiyaç duyar (Akım = 0 için)	Kurşun-Asit, lityum, ZnBr
Coulomb Sayımı	Online yöntem, başarılı yeniden kalibrasyon ve iyi ölçüm	Parazit reaksiyonlarına duyarlı	Tüm bataryalar
Kalman Filtresi ile Modelleme	Online yöntem, dinamik algoritma	Tüm parametrelerin entegrasyonu ile uygulanması zor	Tüm bataryalar
Dürtü Tepki Kavramı	Online yöntem		Tüm bataryalar

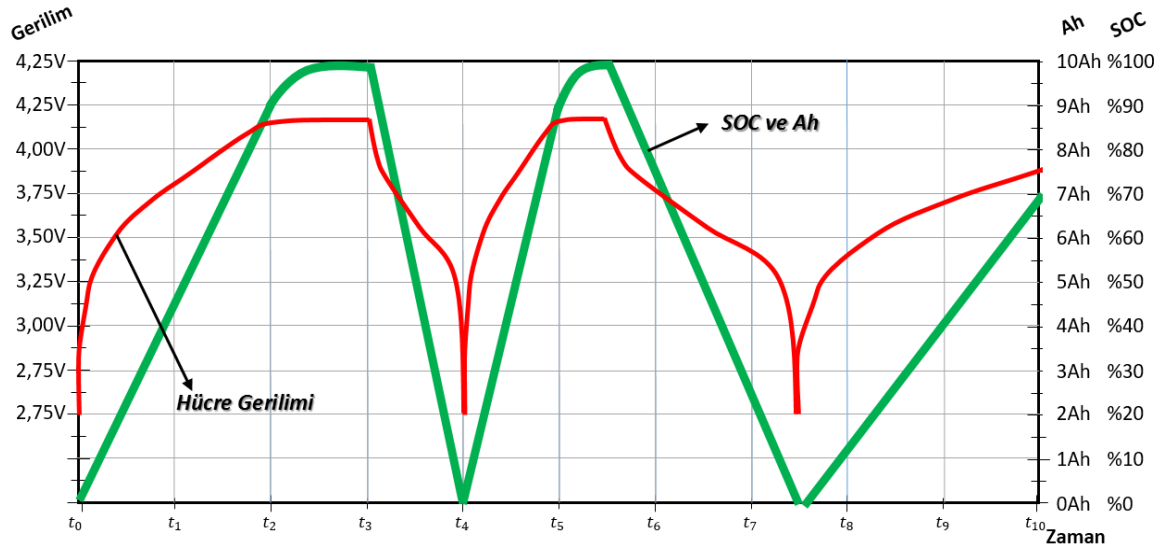
### 2.2.3.2. Direnç ve İç Parametre Hesaplamaları

Lityum bataryalarda iç direncin zamanla değişimi incelenerek batarya paketinin sağlık durumuyla (SOH) ilgili kestirimler yapılabilmektedir. Buna ek olarak hücrelerin, açık devre gerilimi (OCV) ve şarj durumu (SOC) hesaplamaları için de batarya iç direnç bilgisi kullanılmaktadır.

İç direncin çevresel koşullara bağlı olarak oldukça dinamik bir yapısı bulunmaktadır. Bataryanın kapasitesi, sıcaklığı, şarj veya deşarj durumu, kaç defa kullanıldığı iç direnci etkileyen faktörlerdir.

İç direnç hesaplanırken bu faktörleri göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Ancak sadece bu faktörleri hesaplamakla da doğru sonuçlar elde edilemeyebilir. Bu sebeple iç direnci ölçmenin en etkili yöntemi, belirli bir akımda şarj veya deşarj olan bataryanın o anki gerilimi ile bataryanın yükten ayrılarak ölçülen açık devre gerilimi OCV arasında farka bakarak hesaplama yapmaktır. Bu yöntem, çoğu uygulama için karışık formüller kullanarak yapılan hesaplamalara nazaran daha deneysel ve kolaydır.

### 2.2.3.3. Kapasite Hesaplamaları



Şekil 2.13: Bataryanın gerçek kapasitesinin ölçülmesi.



Kapasite ölçümü şarj durumu (SOC) ve deşarj durumu (DOD) ölçüm yöntemlerin daha fazla doğruluk gerektirir. Bataryanın kalan kapasitesini veya harcanan kapasitesini belirlemek için, öncelikle bataryanın toplam kapasitesini hesaplamak ya da bilmek gerekmektedir. Gerçek kapasite değerlerine ulaşabilmek için ölçümler aynı şartlarda defalarca tekrarlanmalıdır. Bataryanın güvenli çalışma bölgesinde (SOA) kalmasını sağlamak için maksimum ve minimum gerilim seviyeleri belirlenip, batarya minimum değerden maksimum değere kadar önerilen şarj akımıyla şarj edilmeli ve daha sonrada önerilen deşarj akımıyla deşarj edilmelidir. Böylelikle şarj ve deşarj kapasite değerleri hesaplanmış olacaktır. Bu işlem birçok kez tekrarlanarak bataryanın ortalama kapasite değeri belirlenir. Kaliteli bataryalarda şarj ve deşarj kapasitesi arasındaki fark oldukça düşüktür.

Bazı durumlarda yukarıda anlatılan yöntemi kullanmak kolay olmamaktadır. Örneğin, elektrikli araçlarda bataryanın her zaman tamamen şarj edilebilmesi ve tamamen deşarj edilebilmesi mümkün olmamaktadır. Bu durumlarda batarya yönetim sistemi, batarya paketinin kapasite hesabını belli aralıklarla kalibre etmeli ve gelişmiş kestirim algoritmaları kullanmalıdır. Şekil 2.13'te farklı şarj ve deşarj akımlarında bir bataryanın kapasite, şarj durumu (SOC) ve kapalı devre gerilim (CCV) ölçümlerinin döngüsü gösterilmektedir.

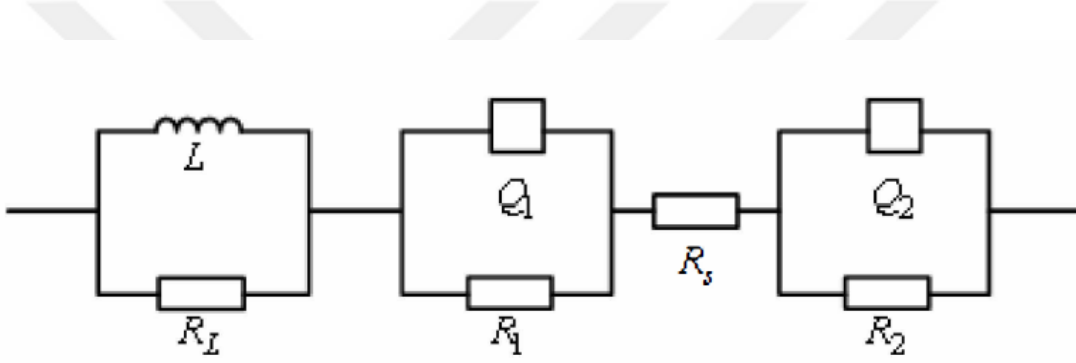
#### **2.2.3.4. Sağlık Durumu Hesaplamaları**

Sağlık durumu (SOH), bir bataryanın başlangıç kapasitesine göre enerji depolama[23], yüksek akım taşıma ve şarj durumunu uzun süre koruyabilme kabiliyeti olarak tanımlanır. Örneğin ilk alındığında 24 saat kullanım süresi olan bir cep telefonunun, bir sene sonra kullanım süresinin 8 saate kadar düşmesi, kullanım ve şarj sırasında ekstra ısınması bataryanın yaşlandığı ve sağlığının bozulduğu anlamına gelmektedir. Dolayısıyla SOH bilgisi, sezgisel olarak bataryanın mevcut kapasitesinin başlangıç kapasitesine göre değişimi olarak ifade edilebilir.

$$SOH = \frac{C_a}{C_N} \times 100\% \quad (2.1)$$

Denklem 2.1'de  $C_a$  bataryanın mevcut enerji kapasitesini,  $C_N$  ise fabrika çıkışı kapasitesi ifade etmektedir. Yüzdelik değişim olarak yapılan bu yaklaşım batarya sağlık durumu (SOH) için en ilkel hesaplama metodudur. Bu yöntemin verimli bir şekilde kullanılabilmesi için bataryanın tam olarak şarj ve deşarj edilmesi ve bu sırada doğru bir kapasite hesaplamasının yapılması gerekmektedir. Ancak elektrikli araçlar gibi bazı kritik uygulamalar da bu teknik her zaman

kullanılamamaktadır. Çünkü batarya tam olarak bitmeden şarj edilebileceği gibi şarj tamamlanmadan da şarj işlemine son vermek gerekebilmektedir. Buna rağmen bataryanın bozulmasını önceden fark etmek, muhtemel bir arızayı daha gerçekleşmeden tespit etmek veya önlemek elektrikli araç uygulamaları için oldukça önemlidir. Bu sebeple genellikle Lityum-İyon piller için kullanılan en yaygın sağlık durumu (SOH) hesaplaması, Empedans Spektroskopisi yöntemidir. İç direnç bilgisi, bataryanın sağlık durumu tahmini hakkında bize bilgi sağlamaktadır. İç direnç hesaplamak için kullanılan diğer yöntemler oldukça karmaşık algoritmalar içerebilmektedir. Şekil 2.14’de batarya iç direncinin elektriksel modeli bulunmaktadır. Bu model dikkate alınarak farklı değişken parametrelerin sağlık durumu üzerindeki etkisi Tablo 2.4’te görülmektedir.



Şekil 2.14: Batarya iç direncinin elektriksel eşdeğer devresi.

Tablo 2.4: Batarya iç empedans parametreleri.

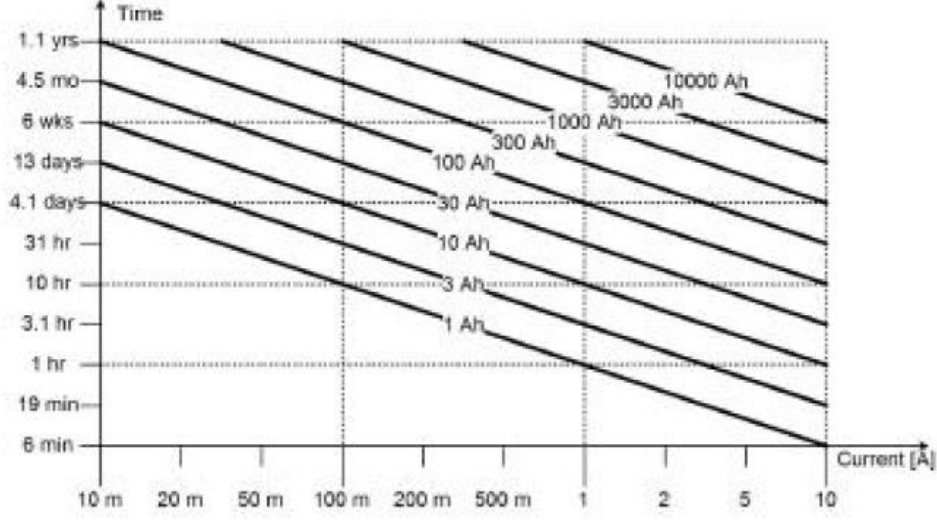
Çevirim Sayısı	2000	1800	1400	1000	600	200
SOH(%)	76.1	82.1	86.6	90.2	95.1	99.6
L(uH)	2.4E-7	2.8E-7	4.2E-7	5.6E-7	6.3E-7	6.9E-7
RL	2.385	2.72	3.179	4.804	5.523	6.181
Q1	246.7	237.5	215.4	195.8	182.4	157.1
N1	0.7387	0.7164	0.7468	0.6693	0.6332	0.5598
R1	0.0012	0.0027	0.0086	0.0148	0.01700	0.3598
RS	0.0537	0.0497	0.0382	0.0267	0.0226	0.0126
Q2	4.413	4.198	3.327	2.312	1.698	0.879
N2	0.3612	0.3968	0.4948	0.6283	0.6724	0.7191
R2	0.0352	0.0536	0.1143	0.1997	0.2527	0.2690

#### 2.2.4. Hücre Dengeleme

Seri bağlı hücrelerin birlikte kullanıldığı bir batarya paketinde hücreler arası bir dengesizlik olması durumunda, en zayıf hücreler bataryanın toplam kapasitesini ve performansını belirlemektedir. Batarya paketinin hücreleri arasında dengesizlik varken bataryanın güvenli çalışma bölgesinde (SOA) kalmasını sağlamak için batarya ne tam olarak şarj ne de deşarj edilebilmektedir. Dolayısıyla mevcut kapasitesi düşmektedir. CC-CV bir şarj cihazıyla batarya şarj edilirken, açık devre gerilimi (OCV) diğer hücrelerden daha yüksek olan hücre(ler) maksimum gerilim noktasına diğer hücrelerden daha erken ulaşacaktır. Şarj cihazı bu durumu anlayamazsa bataryanın toplam gerilimine bakarak şarj işlemine devam etmeye çalışacaktır. Bu durumda batarya yönetim sistemi bazı hücre(ler) aşırı şarj olmasını engellemek ve bataryanın güvenli çalışma bölgesinde (SOA) kalmasını sağlamak için şarj işlemi sonlandıracaktır. Dolayısıyla batarya paketinin gerilim değeri ve kapasitesi olması gereken değerden daha düşük olmasına rağmen şarj işlemine devam edilemeyecektir. Bu durum bataryanın tam kapasite şarj edilememesine neden olmaktadır.

Benzer şekilde deşarj işlemi sırasında, bataryanın en zayıf hücreleri diğer hücelere göre daha hızlı deşarj olarak minimum hücre gerilimi noktasına ulaşacaktır. Bu durum da bataryanın diğer hücrelerinin daha fazla enerji sağlama durumu olmasına rağmen, minimum hücre gerilimi noktasına ulaşan hücrelerde kalıcı hasarların engellenmesi için deşarj işlemi kesilmektedir. Dolayısıyla dengesizlik sebebiyle erken deşarj olan hücreler, sistemin verimini düşürmekte ve çalışma süresinin kısalmasına neden olmaktadır. Batarya paketi içinde sadece tek bir dengesizlik durumunda olan hücre olsa bile, bu durum tüm batarya paketinin performansını etkilemektedir.

Elektrikli araç gibi kritik uygulamalarda dengesizlik probleminin yol açabileceği sonuçlara bir örnek vermek gerekirse, Tesla Firmasının Model S aracında 96-Seri, 74-Paralel toplam 7104 Panasonic NCR18650B hücre kullanılmıştır. Seri modüllerden birinin diğer modüllerden %10 daha düşük kapasitede olduğunu var sayalım. Bu durumda düşük kapasiteli modül deşarj sırasında minimum koruma noktasına ulaştığında, yani %0 SOC olduğunda, diğer 95 seri modülün şarj durumu %10 SOC olmasına rağmen batarya yönetim sistemi bataryanın güvenli çalışma bölgesinde (SOA) kalmasını sağlamak için deşarj işlemi sonlandıracaktır. Aslında bu da bataryanın hala sahip olduğu %9,8 SOC enerjinin kullanılamaması ve dolayısıyla toplam menzilin yaklaşık %9,8 azalması anlamına gelmektedir.



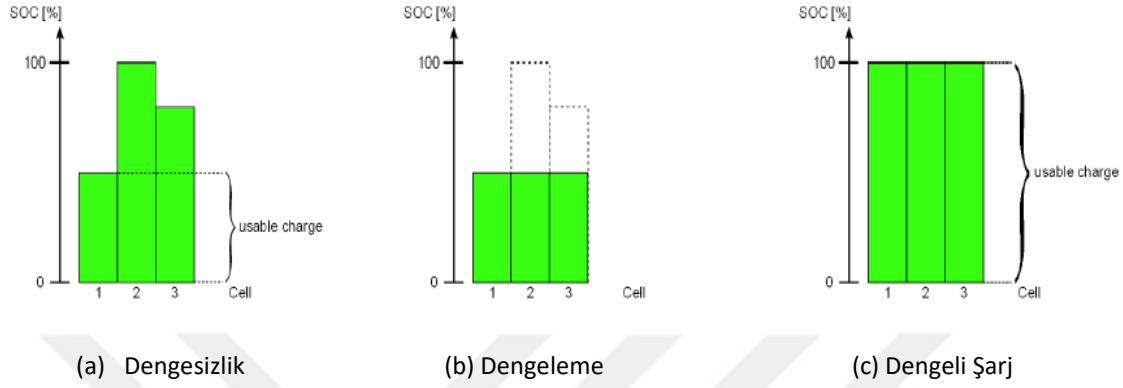
**Şekil 2.15:** Farklı dengeleme akımları kullanılarak, farklı kapasitelerdeki dengelenmiş batarya paketlerinin dengeleme zamanını gösteren grafik[1].

Yukarıdaki örneklerden de anlaşıldığı üzere, batarya hücrelerinin dengeli olması sistem performansını artırması ve bataryanın kullanılabilir kapasitesinden daha efektif yararlanabilmek için oldukça önemlidir. Bu sebeple batarya yönetim sistemlerinin aktif veya pasif olarak çalışan bir hücre dengeleme sistemine sahip olmaları gerekmektedir.

Bir batarya paketinde seri bağlı hücreler arasında meydana gelen dengesizliklerin çözümü için en önemli problemlerden biri de yeterli zamandır. Yani dengeleme akımı kapasitesi hücreler arasında oluşabilecek balans farkını bir sonraki şarj zamanına kadar giderebilecek kapasitede olmalıdır.

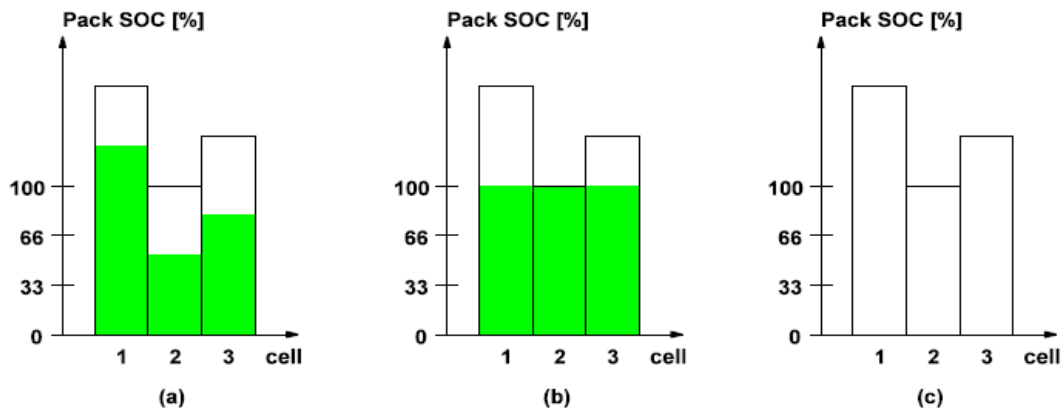
Şekil 2.15'teki örnek dikkate alınır, 100Ah'lik hücrelerin seri bağlandığı bir batarya paketi için, dengeleme akımının 100mA olduğunu varsayalım. En yüksek hücre ile en düşük hücre arasında ki SOC cinsinden kapasite farkının da %5 olduğunu kabul edelim. Yani dengeleme akımının dengelemesi gereken büyüklük 5.000 mAh olacaktır. Bu kapsamda dengeleme süresi 50 saat olacağı hesaplanabilmektedir. Eğer bu sistemin şarj-deşarj döngüsü 50 saatten daha kısaysa, mesela her 10 saatte doldurulup tekrar boşaltılıyorsa bu dengeleme akımının, sistemi kararlı ve balanslı noktaya ulaştırması hiçbir zaman mümkün olmayacaktır. Dolayısıyla bir sistem tasarlanırken, tasarlanan sistemin dengeleme akımının belirlenmesi için olası beklenen kapasite farkının, şarj-deşarj çevirim süresinin kestirilmesi gerekmektedir.

Batarya yönetim sistemlerinde dengeleme akımı belirlenirken çoğu uygulama toplam pil kapasitesinin %1'ini bir saat içinde dengeleyebilecek bir konfigürasyon kullanmayı tercih etmektedir[1].



**Şekil 2.16:** Farklı Şarj Durumlarında ki hücrelerin dengelenmesi. (a) En zayıf hücre, paketi sınırlandırıyor. (b) Batarya paketi en zayıf hücreye göre dengeleniyor (c) Dengeleme sonrası batarya paketi tam kapasite kullanılabilir.

Gerçek hayatta batarya paketleri, ideal koşullardan farklı olarak kapasiteleri tam olarak eşit olmayan birçok hücrelerden oluşmaktadır. Bundan dolayı eğer kapasitesi düşük olan hücre varsa bu hücreyi diğer hücrelerle eşit seviyeye getirmeden paket tam olarak deşarj edilirse kapasitesi düşük olan hücre diğer hücrelerden daha önce deşarj olup minimum gerilim değerinin altına düşecektir. BMS'in düşük gerilim (UV) korumasına girmesini önlemek için Şekil 2.16 anlatıldığı üzere batarya paketi öncelikle en zayıf hücreye göre dengelenmelidir

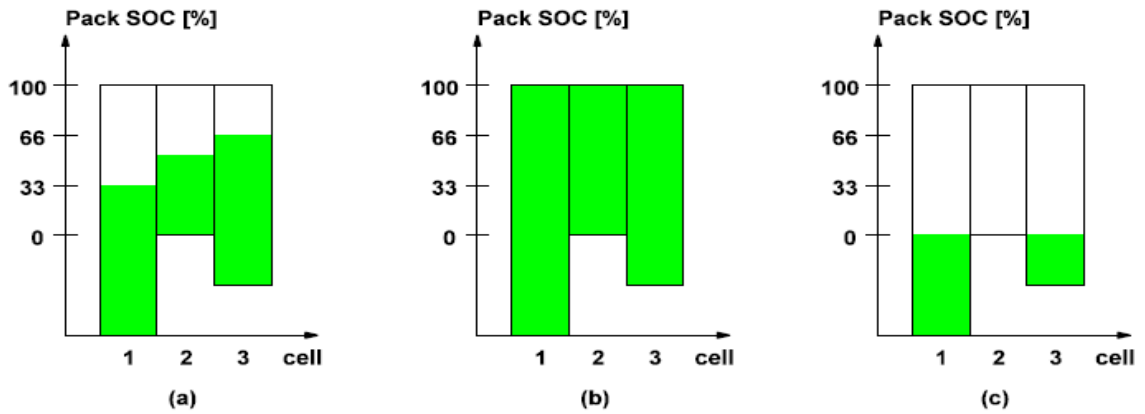


**Şekil 2.17:** Farklı kapasitelerde üç adet aşağıda dengeli hücre. (a) dengelenmemiş. (b) Tam şarj edilmiş (c) Boş.

Benzer şekilde kapasitesi paket ortalamasından yüksekte olan hücreleri ortalama kapasitesine indirmeden paketi tam olarak şarj etmeye çalışırsak da kapasitesi yüksek olan hücre önceden şarj olup maksimum gerilim değerinin üzerine çıkacaktır. BMS'in yüksek gerilim (OV) korumasına girmesini önlemek için Şekil 2.17 anlatıldığı gibi yüksek gerilim noktasına ulaşan veya geçen hücreler sürekli deşarj edilerek düşük kapasiteli hücrelerin kendilerine yetişmesi sağlanmalı ve tam şarj işlemi gerçekleştirilmelidir.

Özellikle enerji veriminin kritik olduğu uygulamalarda üst gerilim de dengeleme, aşağı noktada dengelemeye göre daha avantajlıdır.

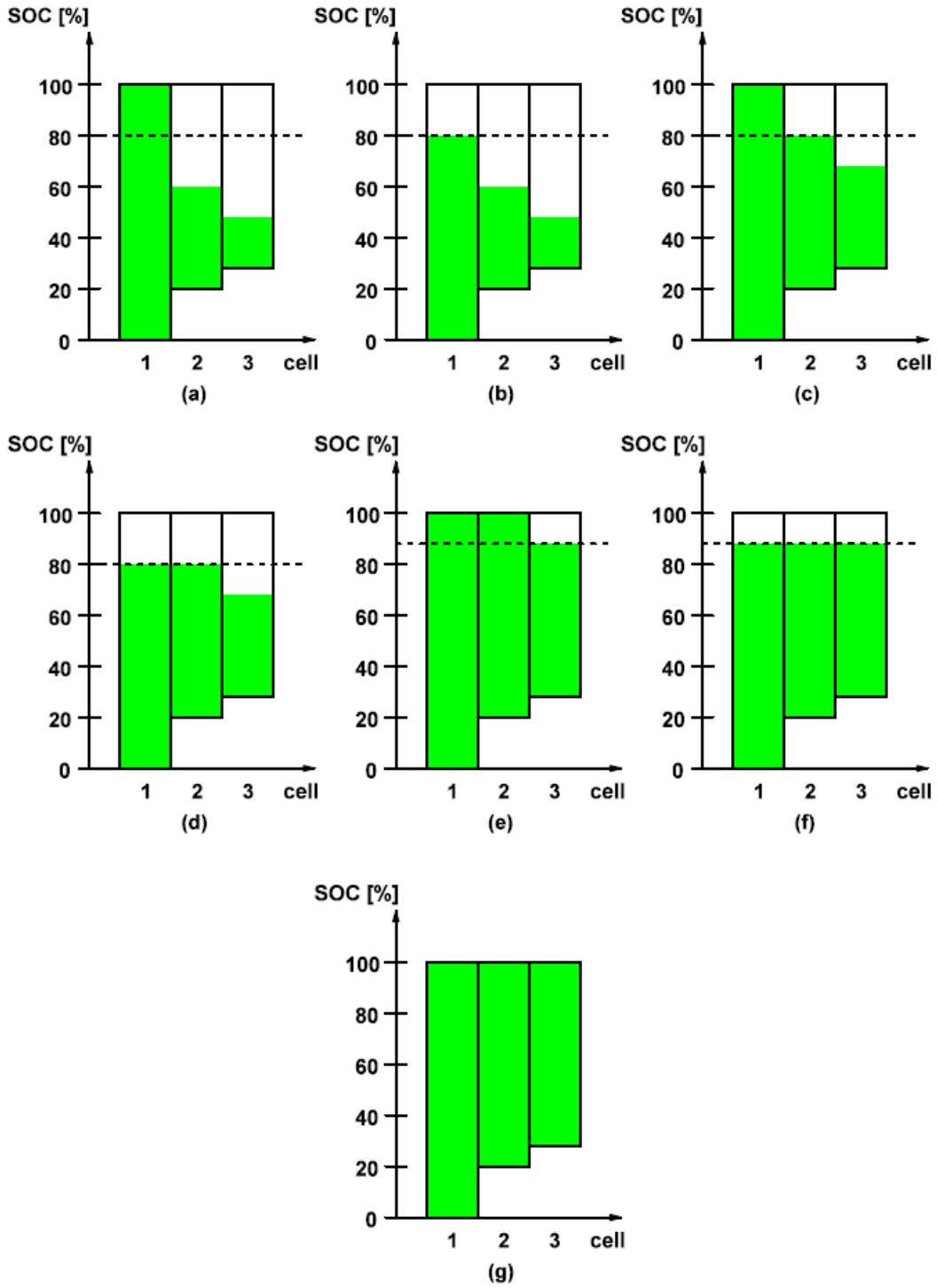
1. En üst gerilim değerinde dengelenen bataryalar daha fazla enerji depolayabilmektedir. Daha yüksek hücre gerilimleri daha fazla enerji depolama anlamına gelmektedir.
2. Normal koşullarda ihmal edilebilir bir değer olan hücre iç direnci, düşük SOC seviyelerinde bataryadan çekilebilecek maksimum akımı sınırlandırabilmektedir. Bu durumda yüksek güç gerektiren uygulamalar için batarya geriliminin düşmesine ve dolayısıyla çekilecek akım miktarının da azalmasına neden olmaktadır. Yukarıda dengelenmiş hücrelerde ortalama SoC, alt dengelenmiş hücrelerden daha yüksek olduğu için, akımın sınırlandırılmasına sebep olan iç direnç daha düşüktür.
3. Belirli hücre kimyasalları nedeniyle, iç kimyasal dengeyi korumak için hücreleri birer birer dolu şarj etmek gereklidir. Bu tür hücreler için üst dengeleme tek önemli yöntemdir.



Şekil 2.18: Farklı kapasitelerde üç üst dengeli hücre. (a) Dengelenmemiş, (b) Dengeli tam şarj edilmiş, (c) Boş.

4. Düşük akımlarda bataryanın iç direnci üzerine düşen gerilim daha düşük olur. Genellikle şarj akımının deşarj akımından daha düşük olduğunu düşünürsek, SoC kestiriminin hücre açık devre (OCV) geriliminden yapıldığı uygulamalarda üst dengeleme kestirim sonucu için daha doğru sonuçlar üretmektedir.
5. Bir Li-İyon hücre, aşırı deşarj edildiğinde (minimum gerilim noktasının altında deşarj edildiğinde) geri dönülemez kimyasal bozulmalara maruz kalabilir veya ölebilir. Bu nedenle, batarya yönetim sistemi, batarya paketi içinde herhangi düşük bir hücre olduğunda deşarj işlemini durdurmakla görevli olmalıdır. Ancak bazı kritik uygulamalarda sistemin sürekli çalışması gerekmekte ve BMS'in bazı güvenli çalışma bölgesi koruma fonksiyonları değiştirilebilmekte veya geçersiz bırakılabilmektedir. Örneğin bir elektrikli araç yarışında pilotun yarışa devam etmek için BMS'in deşarj korumasını iptal ettiğini varsayalım. Bu durumda BMS hücreleri aşağıda dengelemeye devam ederse normalde sadece bir veya bir kaç hücre ölecekken tüm hücreler en düşük gerilim noktasına ulaşmak için kendi enerjisini transfer edecek ve ölmeye başlayacaktır.
6. Üst gerilimde dengelenmiş hücreleri şarj etmek daha kolaydır. Standart bir CC-CV şarj cihazı üst gerilimde dengelenmiş hücreleri şarj edebilir. Şarj cihazının sadece aç-kapa kontrolünü yapılarak üst gerilimde dengeleme kolayca uygulanabilir. Bu algoritma, iyi çalışsa da önemli bir kısıtlamaya sahiptir. Dengeleme yalnızca kısa bir süre içerisinde yapılabilmektedir. Bunun için ya yeterli dengeleme akımına ya da dengeleme süresine ihtiyaç vardır. Ancak CC-CV şarj cihazı kullanıldığında şarj sabit gerilim noktasındayken, şarj akımı da yavaş yavaş azalacağı için, dengeleme akımı tüm hücrelerin eşitlenmesi için yeterli olabilmektedir.

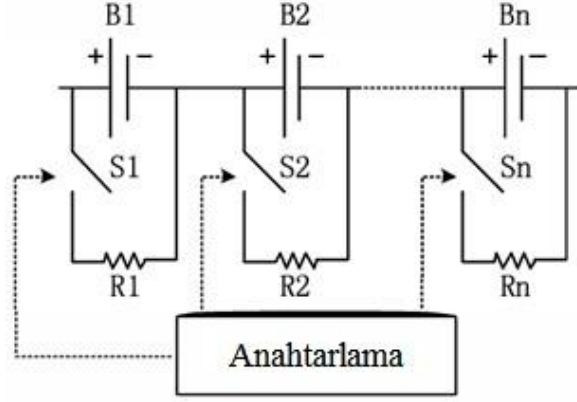
Buraya kadar bir batarya paketinde hücreler arası dengenin öneminden, hücrelerin dengelenmesi için kullanılacak bazı algoritmalarından bahsedildi. Bir batarya yönetim sistemi dengeleme fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için bir takım donanım gereksinimlerine sahip olması gerekmektedir. Dengeleme sisteminde kullanılan donanımsal farklılıklar göz önünde bulundurulduğunda hücre dengeleme pasif ve aktif dengeleme olmak üzere iki ana yöntem altında incelenmektedir.



**Şekil 2.19:** Gerilime dayalı üst dengeleme algoritması. Bir hücre % 100 SOC'ye ulaştıktan sonra (a), BMS tarafından şarj durdurulur en düşük hücre % 80 SOC'den daha az ise % 80 SOC'den fazla olanlar % 80 SOC'ye kadar deşarj edilir(b, d). Bu durum sürekli tekrar edilir. Bir veya birkaç hücre % 100 SOC'ye ulaştığında(e), en düşük hücre % 80 SOC'den fazla ise tüm hücreler en düşük hücrenin gerilimine kadar deşarj edilir (f) . Bu durum tüm hücreler %100 SOC'ye ulaşana kadar tekrar edilir (g).



### 2.2.4.1. Pasif Dengeleme



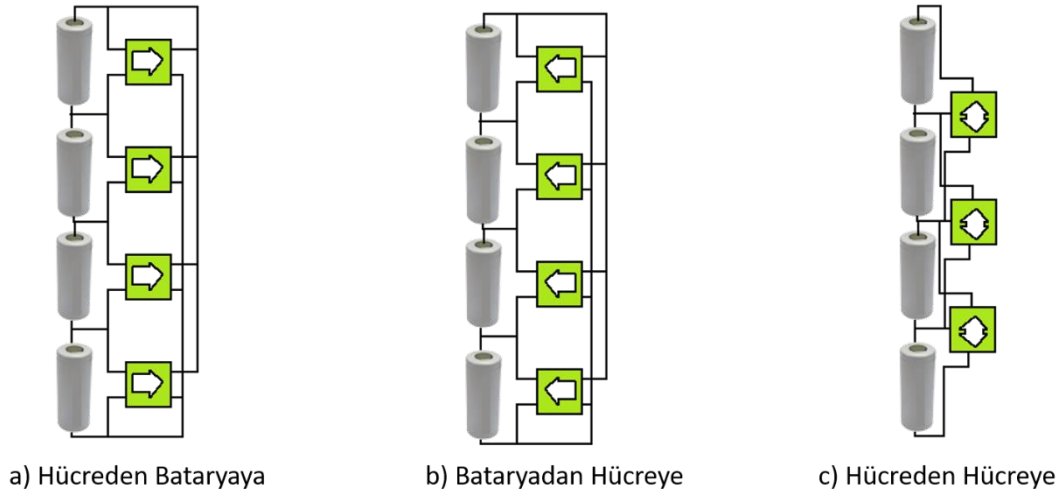
Şekil 2.20: Örnek pasif eşitleme devresi.

Pasif dengeleme, hücre dengeleme yöntemleri içerisinde en kolay uygulanabilecek tekniktir. Bu yöntemde batarya ortalamasının üzerinde enerjiye sahip veya yüksek gerilim noktasına yaklaşmış olan hücreler, tercih edilmiş algoritmaya göre sabit direnç yükler üzerine kontrollü bir şekilde deşarj edilerek tüm hücrelerin dengeye gelmesi sağlanmaktadır. Deşarj işlemi sırasında fazla enerji dirençler üzerinde ısı enerjisine dönüşmektedir.

Tekniğin uygulamasına dair Şekil 2.20'de örnek sistem topolojisi gösterilmiştir. Bu uygulamada, R dirençleri sabittir. Dengeleme algoritmasının da ortalama 4.00-4.20V aralığında çalıştığı düşünülürse, R sabit direnci sebebiyle oluşan deşarj akımı neredeyse sabit kabul edilebilir. Pasif dengeleme sistemlerinde dengeleme dirençleri seçilirken genellikle 400-100mA arası dengeleme akımını sağlayacak uygun büyüklükte dirençler tercih edilir.

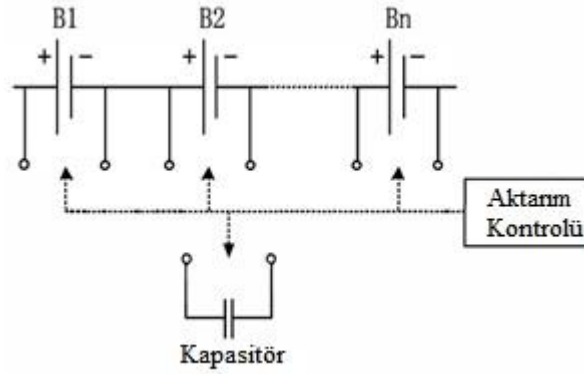
### 2.2.4.2. Aktif Dengeleme

Aktif dengeleme, pasif dengeleme metoduna nazaran daha karmaşık, masraflı ve zor bir yöntemdir. Aktif dengeleme sisteminin kullanıldığı uygulamalarda yüksek SOC'ye sahip olan hücreler mevcut enerjilerini harici elektronik devreler aracılığıyla düşük SOC durumdaki hücrelere veya tüm batarya paketine transfer etmektedirler. Benzer şekilde batarya paketinde doğrudan düşük SOC'ye sahip hücrelere enerji transferi sağlayabilmektedir (Şekil 2.21).



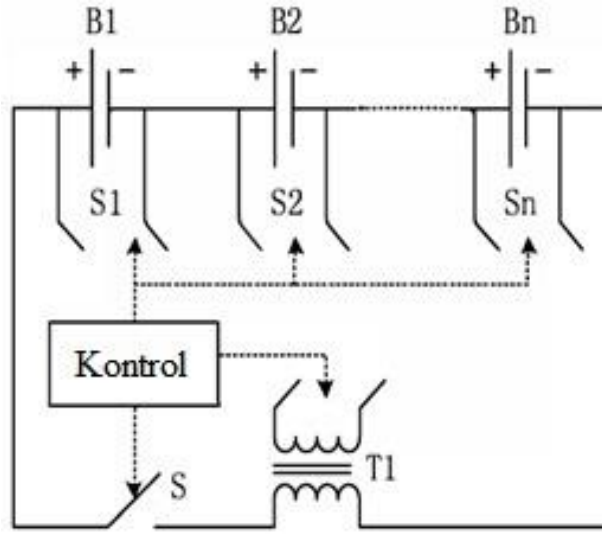
**Şekil 2.21:** Aktif dengeleme, Hücreden bataryaya(a), Bataryadan hücreye(b), Hücreden hücreye(c).

Aktif dengelemede enerji transferi için kullanılan yöntemlerden en yaygın olanı hareketli kapasite yöntemidir. Şekil 2.22’de görülen sistemde gerilim değeri yüksek olan hücreler önce kapasitör üzerine enerjilerini transfer etmektedir. Kontrolör devresi, kapasitörde depolanan fazla enerjiyi batarya grubu içinde düşük kapasiteli hücrenin üzerine transfer işlemini gerçekleştirmektedir. Bu işlem batarya paketindeki tüm hücrelerin gerilim değerleri dengeleninceye kadar devam etmektedir.



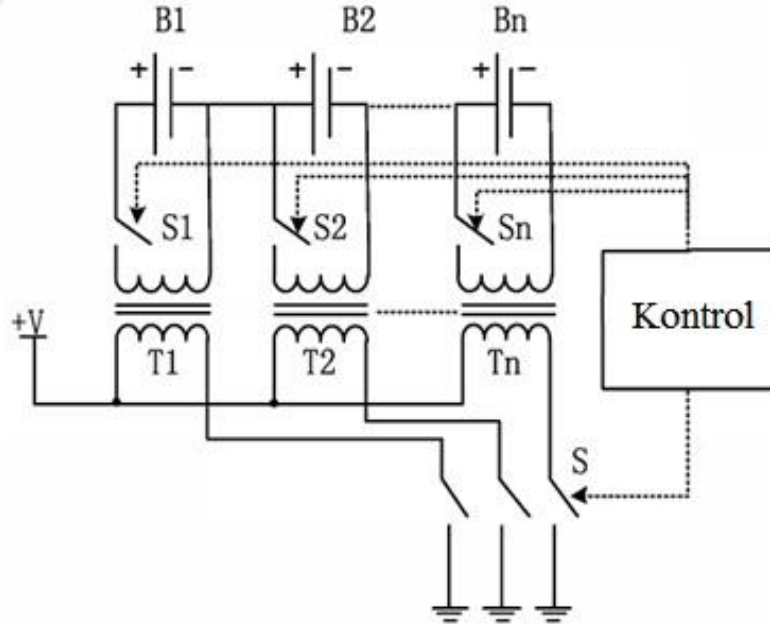
**Şekil 2.22:** Hareketli kapasite ile aktif eşitleme tekniği.

Enerjinin transferi için geçici depolama elemanı olarak kapasitör yerine bobin veya transformatörlerde kullanılabilir. Enerji aktarımdaki bobin veya transformatör kullanmanın en temel avantajı, daha yüksek şarj – deşarj verimliliğidir. Ayrıca kapasitör kullanımı sırasında yaşanan, dengelenecek hücreler arasındaki gerilim farklılıkları azaldığında dengeleme süresinin uzaması problemi bobin veya transformatör kullanıldığında artık ortadan kalkacaktır.



Şekil 2.23: Transformatör kullanılan aktif eşitleme tekniği.

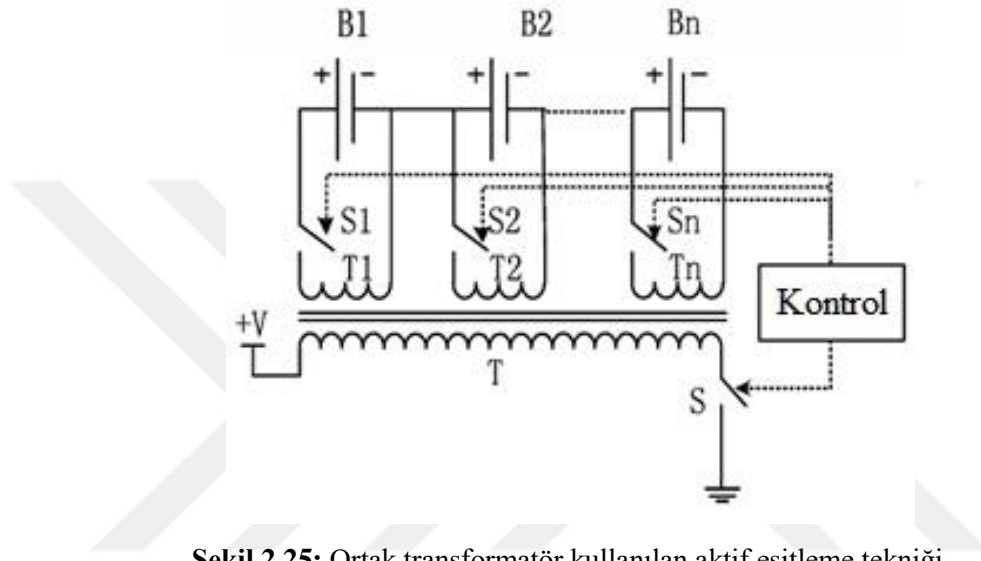
Şekil 2.23'te aktif dengeleme transformatörün kullanıldığı bir sistemi görülmektedir. Bu uygulamada düşük SOC'ye sahip hücreler doğrudan batarya paketi üzerinden enerji çevirimiyle şarj edilecektir. Benzer şekilde aynı yöntem kullanılarak, yüksek SOC'ye sahip hücreler de fazla enerjilerini doğrudan batarya paketinin tamamı üzerine transfer edebilirler.



Şekil 2.24: Aynı ayrı ayrı transformatörler kullanılarak aktif eşitleme tekniği.

Şekil 2.24'de blok şeması verilmiş sistem şekil 2.23'teki sistemler benzer şekilde çalışmaktadır. Aralarında tek fark Şekil 2.24'te her hücreye ayrık bir transformatör bağlanmıştır. Bu sistem pratikte Şekil 2.23'teki sistemle aynı işi yapıyor olmasına rağmen oldukça maliyetli ve büyük boyutlu olacaktır. Bu sebeple boyut ve maliyet problemini en aza indirmek için tek

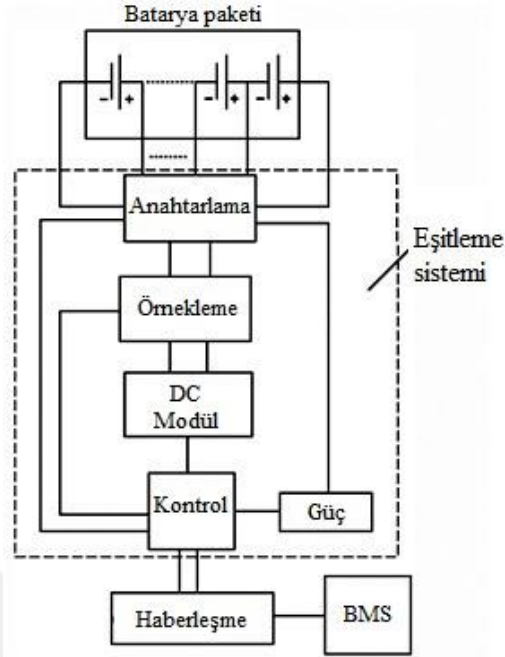
transformatörlü yöntemin tercih edilmesi daha uygun olabilir. Ancak tek transformatörün kullanıldığı yöntemde, diğer yöntemlere göre biraz daha karmaşık bir devre tasarımı ve yüksek gerilime dayanıklı elemanlar ihtiyaç duyması gibi dezavantajları vardır. Özellikle yüksek gerilimli batarya paketlerinde tek transformatörün kullanıldığı durumlarda malzeme seçimi yaparken, kullanılacak anahtarlama elemanlarının ve diğer donanım parçalarının çalışma koşulları göz önünde bulundurulmalıdır.



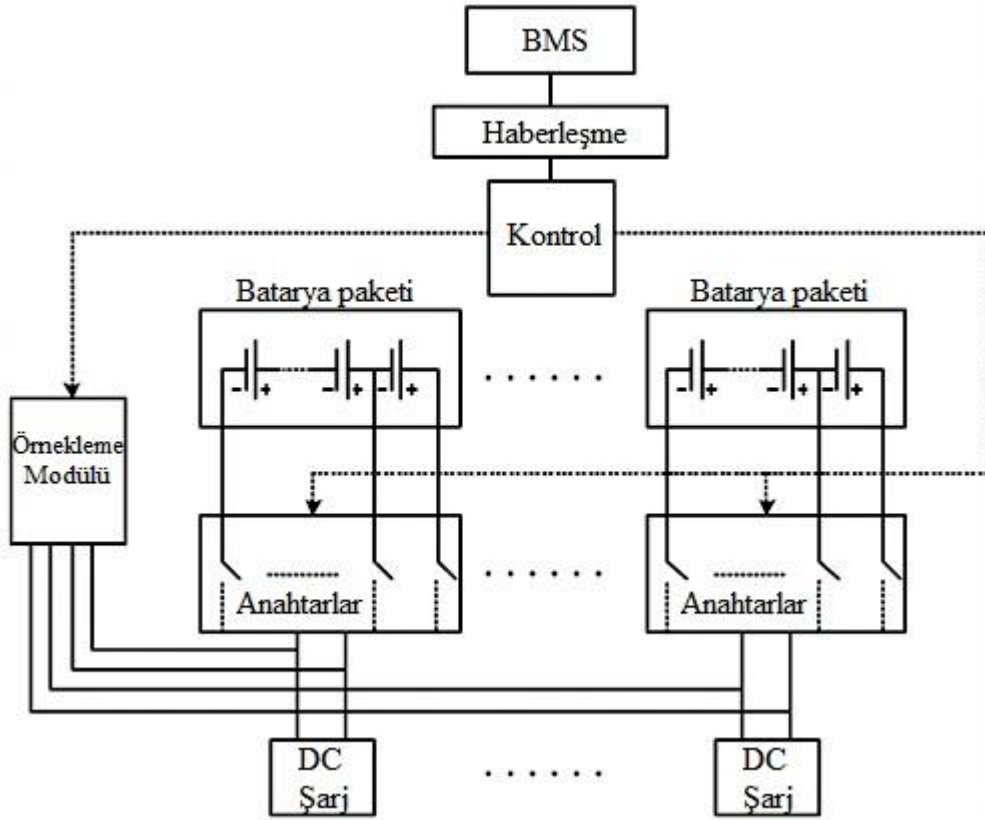
Şekil 2.25: Ortak transformatör kullanılan aktif eşitleme tekniği.

Aktif dengelemede tercih edilebilecek bir diğer yöntem ise batarya paketinin harici bir enerji kaynağı ile dengelenmesini sağlamaktır. Şekil 2.25'te harici besleme ile çalışan ortak bir transformatöre bağlı hücreler görülmektedir. Her hücre kendine ait bir sarımla bir birinden manyetik olarak izole edilmiştir.

Şekil 2.25'te T anahtarlarını kullanarak kapasitesi düşük olan hücreler kapasitesi yüksek olan hücrelere ulaşana kadar izole ve ayrı ayrı şarj edilmektedir. Bu yöntem genellikle üst gerilim noktasında dengeleme algoritmasının kullanıldığı uygulamalarda tercih edilebilir. Tüm hücrelerin dengeli bir şekilde şarj edilmesi böylece sağlanmaktadır. Bu yöntemde dengeleme için gerekli enerji, harici enerji kaynağı tarafından sağlandığı için daha yüksek akımlarla dengeleme işlemi gerçekleştirilebilir. Dolayısıyla batarya hücrelerinin dengeye ulaşma süreleri kısılacak ve sistem veriminin artması sağlanabilir. Şekil 2.26'da harici enerji kaynağı kullanılarak dengeleme yapan aktif dengeleme sisteminin çalışma şeklini gösteren bir şematik gösterilmiştir. Bu yöntemin birden fazla batarya paketi için aynı anda kullanımı da şekil 2.27'de görülmektedir.



Şekil 2.26: Harici enerji kaynağı ile eşitleme topolojisi.



Şekil 2.27: Birden çok batarya paketi için harici güç kaynağı ile eşitleme tekniği.

Harici enerji kaynağı kullanarak yapılan dengeleme sisteminin bir diğer avantajı da batarya yönetim sistemiyle paralel olarak çalışabiliyor olmasıdır. Doğrudan BMS'ten aldığı bilgiler doğrultusunda dengelenecek hücreleri doğrudan şarj edebilir veya duruma göre şarj işlemlerinin tamamına son verebilir. Bu yöntem genellikle düşük seri hücreli uygulamalarda tercih edilebilecek bir yapıdır. Özellikle elektrikli araç bataryaları gibi yüksek hücre sayılı sistemlerde bu yapının kurulması oldukça zordur.

### **2.2.5. Veri Kaydı**

SOH, yeni bir pilin durumuna bağlı olduğu için, ölçüm sistemi, karşılaştırma için başlangıç koşullarının bir kaydını veya bir dizi standart koşulları tutmalıdır.

SOH'yi belirlemenin alternatif bir yöntemi, batarya tarafından tamamlanan şarj-deşarj döngüsü sayısı gibi belirli ölçülmüş parametreler yerine bataryanın kullanım geçmişine dayanan SOH değerini tahmin etmektir. Bu fonksiyon, önemli verileri hafıza sistemine kaydetmektedir.

### **2.2.6. Haberleşme**

Batarya Yönetim Sistem'inin iletişim fonksiyonu, performansı izlemek, verileri kaydetmek, teşhis sağlamak veya sistem parametrelerini ayarlamak için kullanılan bir veri bağlantısı vasıtasıyla sağlanabilmektedir.

İletişim protokolünün seçimi, batarya tarafından batarya uygulaması ile belirlenmektedir. Endüstriyel ihtiyaçlar göz önünde bulundurulduğunda en yaygın kullanılan haberleşme protokolleri CANBUS, RS485, RS422 ve RS232'dir.

## **2.3. BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ TOPOLOJİLERİ**

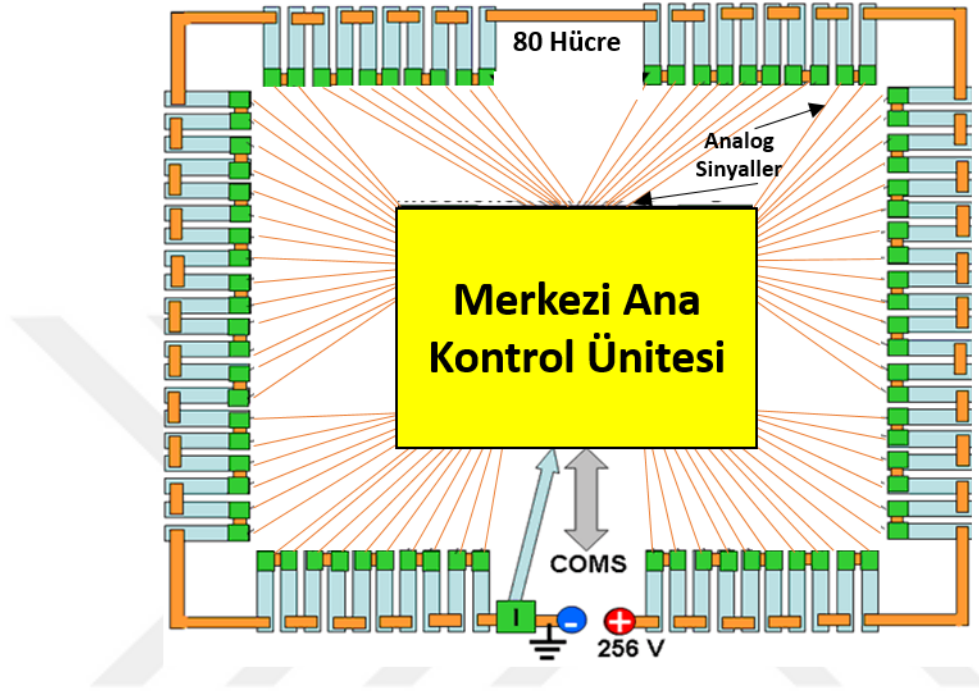
Batarya yönetim sistemleri uygulamalara göre tercih edilebilecek birçok farklı topolojik yapıda geliştirilebilirler. Mevcut topolojileri üç ana başlık altında inceleyebiliriz. Bunlar;

- Merkezi tip batarya yönetim sistemleri (Centralized Topology)
- Ayrılmış tip batarya yönetim sistemleri (Distributed Topology)
- Modüler tip batarya yönetim sistemleri (Modular Topology)

Bu topolojileri genel anlamda karşılaştıracak olursak, hangisinin daha iyi olduğunu söylemek oldukça zordur. Her birinin, uygulama alanına göre değişen avantajları ve dezavantajları

mevcuttur. Bu doğrultuda, doğru seçim için uygulama tipi, batarya paketinin büyüklüğü ve bütçe kısıtları göz önünde bulundurulmalıdır.

### 2.3.1. Merkezi Topoloji Batarya Yönetim Sistemleri



Şekil 2.28: Merkezi tip batarya yönetim sistemi.

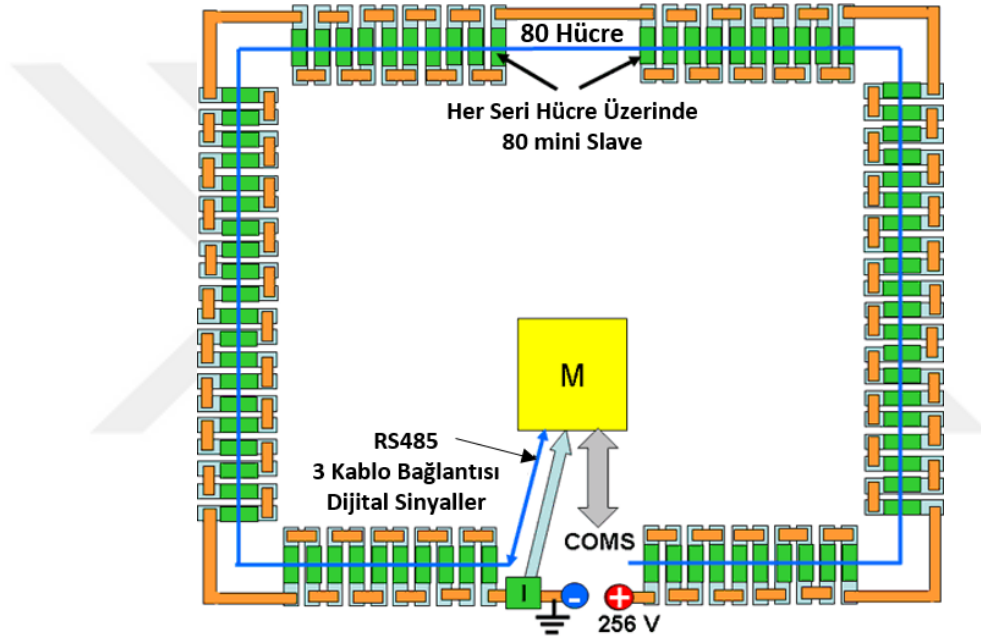
Bu topoloji, herhangi bir sistem için en basit topoloji olarak değerlendirilebilir. Her hücre den ölçüm ve dengeleme için alınmış bağlantı kabloları tek bir PCB'ye bağlanmaktadır. Seri bağlı bataryada n'inci hücrenin "+" kutbu n+1'inci hücrenin "-" kutbudur. Bu durumda, n adet hücrenin bulunduğu bir sistemde n+1 adet ölçüm kablosu yeterli olacaktır. Hücre sayısının fazla olduğu durumlarda, kablo sayısı – Spaghetti Problemi – denilen bir probleme yol açmaktadır. Bu sebeple, bu topoloji hücre sayısının fazla olduğu durumlarda pek tercih edilmemektedir. Düzenlemeler yaparak kablo karmaşasından kurtulmak mümkün olabilir fakat yine de büyük batarya paketlerinde merkezi topolojiyi uygulamak oldukça zor olacaktır. Bu topolojinin avantajları;

- Ekonomik; Tek bir baskı devre, tek bir mikroişlemci kullanılmaktadır.
- Bakım – Onarım; Herhangi bir arıza veya bakım durumunda tek bir modülü değiştirmek çok daha kolay olacaktır

- Doğruluk – Tüm hücreler için aynı ADC referansı ile tek bir noktadan ölçülecek ve balans kontrolü gerçekleştirilecektir.

### 2.3.2. Dağıtılmış Topoloji Batarya Yönetim Sistemleri

Dağıtılmış tip batarya yönetim sistemlerinde seri bağlı her hücre için 1 mini slave modül bulunmaktadır. Tüm slave modüller ölçüm sonuçlarını kullanılan haberleşme protokolüne göre master modüle göndermektedir. Master modül sistemin koruma ve dengeleme fonksiyonlarına karar vererek her slave modülle ayrıca iletişim kurup koordinasyonu sağlamaktadır.



Şekil 2.29: Dağıtılmış tip batarya yönetimi sistemi.

Her bir hücreye bir adet slave modülün bağlanması, tüm ölçümlerin doğrudan hücrenin üzerinden yapılmasını sağlayacağı için her hangi bir analog sinyal taşımaya ihtiyaç kalmayacaktır. Bu durumda montaj sırasında oluşabilecek kablolama hatalarının önlenmesini ve daha kolay bir montaj yapılmasını sağlamaktadır. Ayrıca tüm ölçümler ayrı bir sistem olarak doğrudan batarya hücresi üzerinden yapılacağı için daha yüksek hassasiyette gerilim ve sıcaklık ölçümü imkânı sağlamaktadır.

Özellikle bataryadaki seri hücre sayısının fazla olduğu veya batarya konfigürasyonunun değişken olduğu uygulamalarda dağıtılmış tip BMS topolojisi en kolay uyarlanabilir yöntemdir. Elbette

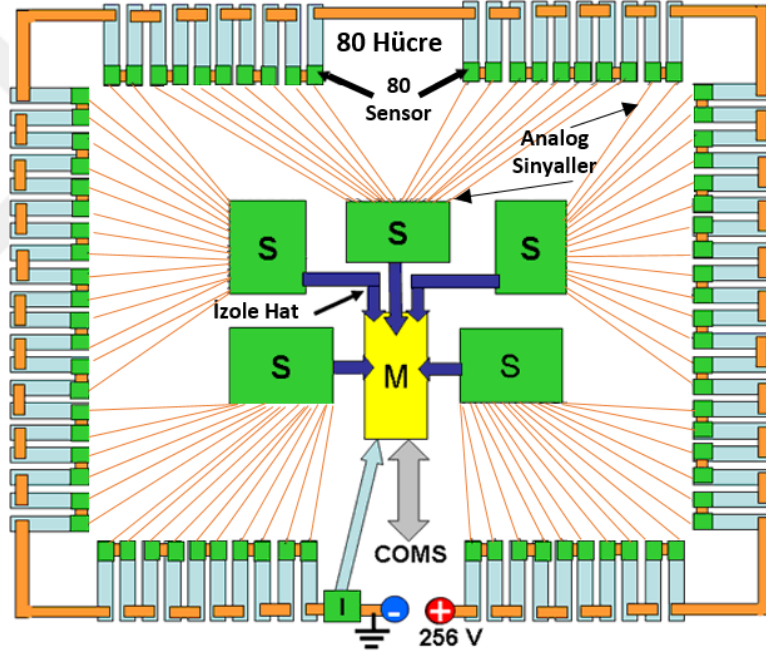


bu durum geliştirilmiş BMS'in desteklediği slave modül sayısı ve haberleşme protokolüne bağlıdır.

Tüm bu avantajlara rağmen, yüksek adetli seri hücre sayısı içeren, yani yüksek gerilimli bataryalarda yüzlerce slave modüle ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da sistemin görünür maliyetlerini ve total hacmini arttıracaktır. Bu artışa bağlı olarak montaj ve paketleme problemlerini ortaya çıkabilmektedir.

### 2.3.3. Modül Topoloji Batarya Yönetim Sistemleri

Mimari olarak dağıtılmış tip ile birçok ortak özelliği bulunmaktadır fakat dağıtılmış sistemin aksine, her hücre için bir slave modül değil bir hücre grubu için bir slave modül kullanılır.



Şekil 2.30: Modül tip batarya yönetim sistemi.

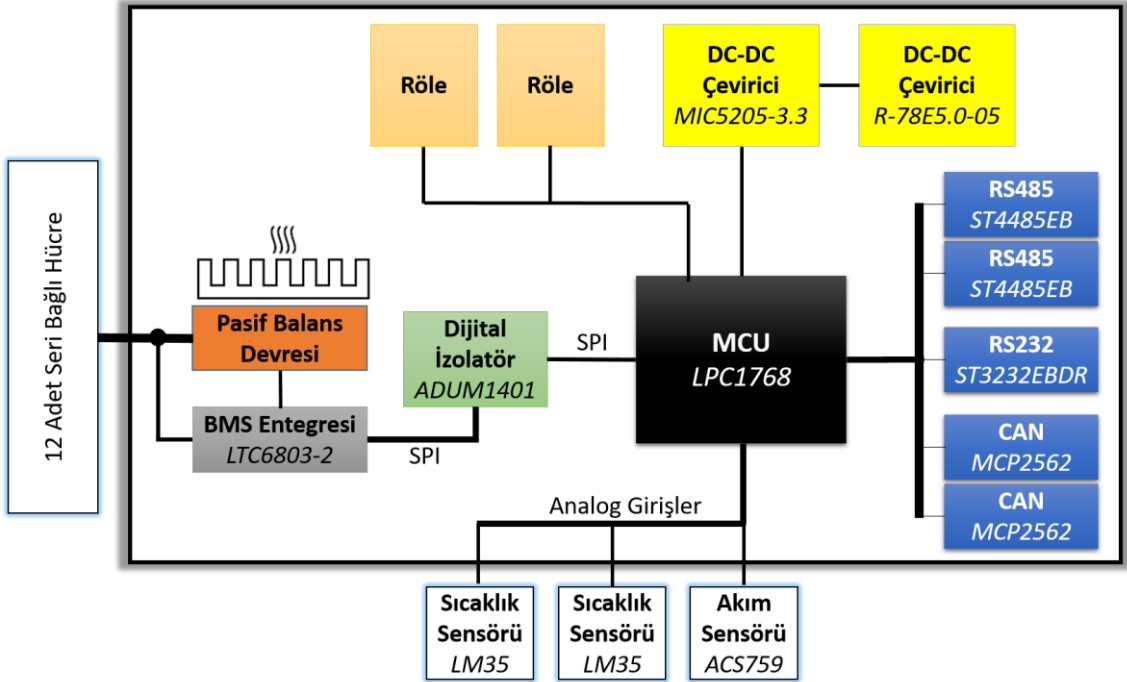
Tüm slave modüllerin kontrolünü yapan harici bir master modül kullanılacağı gibi, slave modüllerden biriside önceliklendirilerek ana kontrolcü (master) haline getirilebilir. Bu noktada dikkat edilmesi gereken en önemli konu BMS'nin donanım tasarımı sırasında slave modüllerin akım ölçümü, röle kontrolü, veri kaydı, dış dünya ile iletişim gibi bazı fonksiyonları yerine getirebilecek yapıda tasarlanmasıdır.

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

Bölüm 2' de bir batarya yönetim sisteminin sahip olması gereken özelliklerden bahsetmiştik. Bu bölümde ise, Lityum tabanlı enerji depolama ünitelerinde kullanılmak üzere modül topolojide pasif dengeleme özelliğine sahip bir batarya yönetim sisteminin tasarımı, üretilmesi ve çalıştırılması ayrıntılı olarak anlatılacaktır. Ayrıca batarya yönetim sisteminin kontrol ve koruma parametrelerinin ayarlanabilmesi, sistem durumunun izlenebilmesi ve verilerin kayıt altına alınabilmesi için gerekli olan kullanıcı ara yüzünün özellikleri bu bölüm içinde anlatılacaktır.

#### 3.1.TASARIM

Tez kapsamında enerji depolama üniteleri için endüstriyel kullanıma uygun bir batarya yönetim sistemi tasarım hedefiyle yapılan çalışmalar neticesinde, modül topolojiyi kullanan ve her modülde, mikrodenetleyici, DC-DC çevirici, batarya izleme ve dengeleme, ölçüm, haberleşme bloklarının bulunduğu dijital bir batarya yönetim sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan bu sisteme ilişkin blok şema Şekil 3.1 de görüldüğü gibidir. Sistemin alt birimleri ilerleyen bölümlerde ayrıntılı bir şekilde anlatılacaktır.

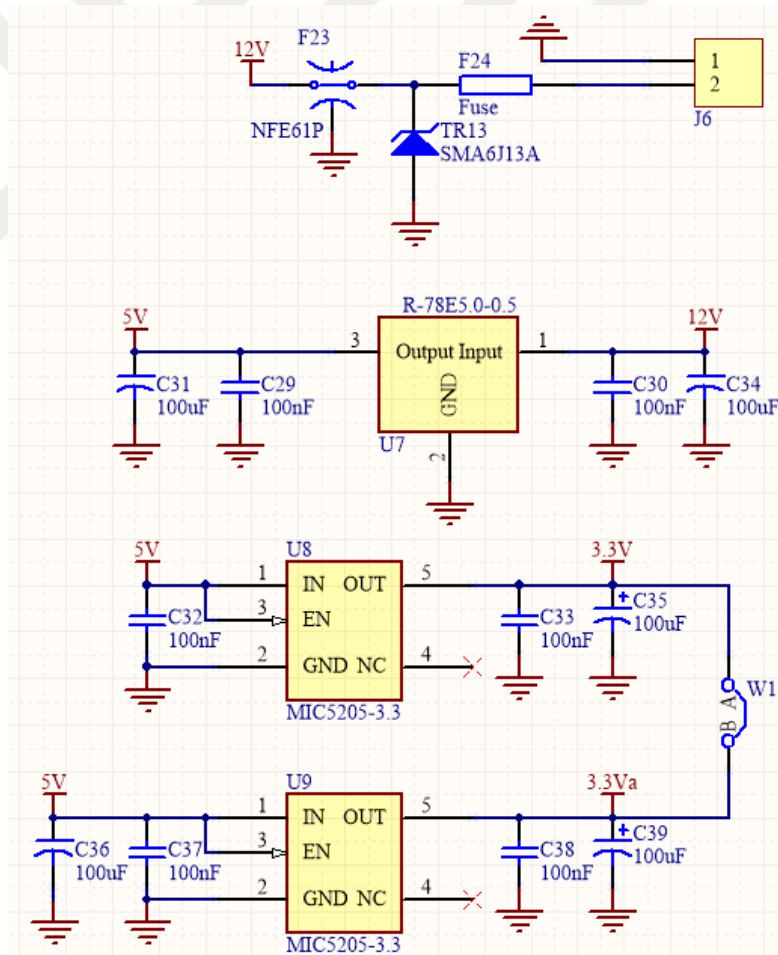


Şekil 3.1: Batarya Yönetim Sistemi Blok Şeması.

### 3.1.1. Güç Bloğu

Endüstriyel kullanım ihtiyaçları göz önünde bulundurularak tasarlanan batarya yönetim sisteminde besleme gerilimi olarak 12VDC kullanılmaktadır. Devre üzerindeki elektronik cihazlar 3.3V ile 5V olmak üzere farklı giriş gerilimlerine göre çalışmaktadır. Bu sebeple besleme gerilimi olan 12V dc, öncelikle 5V'a daha sonrada 3.3V a çevrilerek kullanılmaktadır.

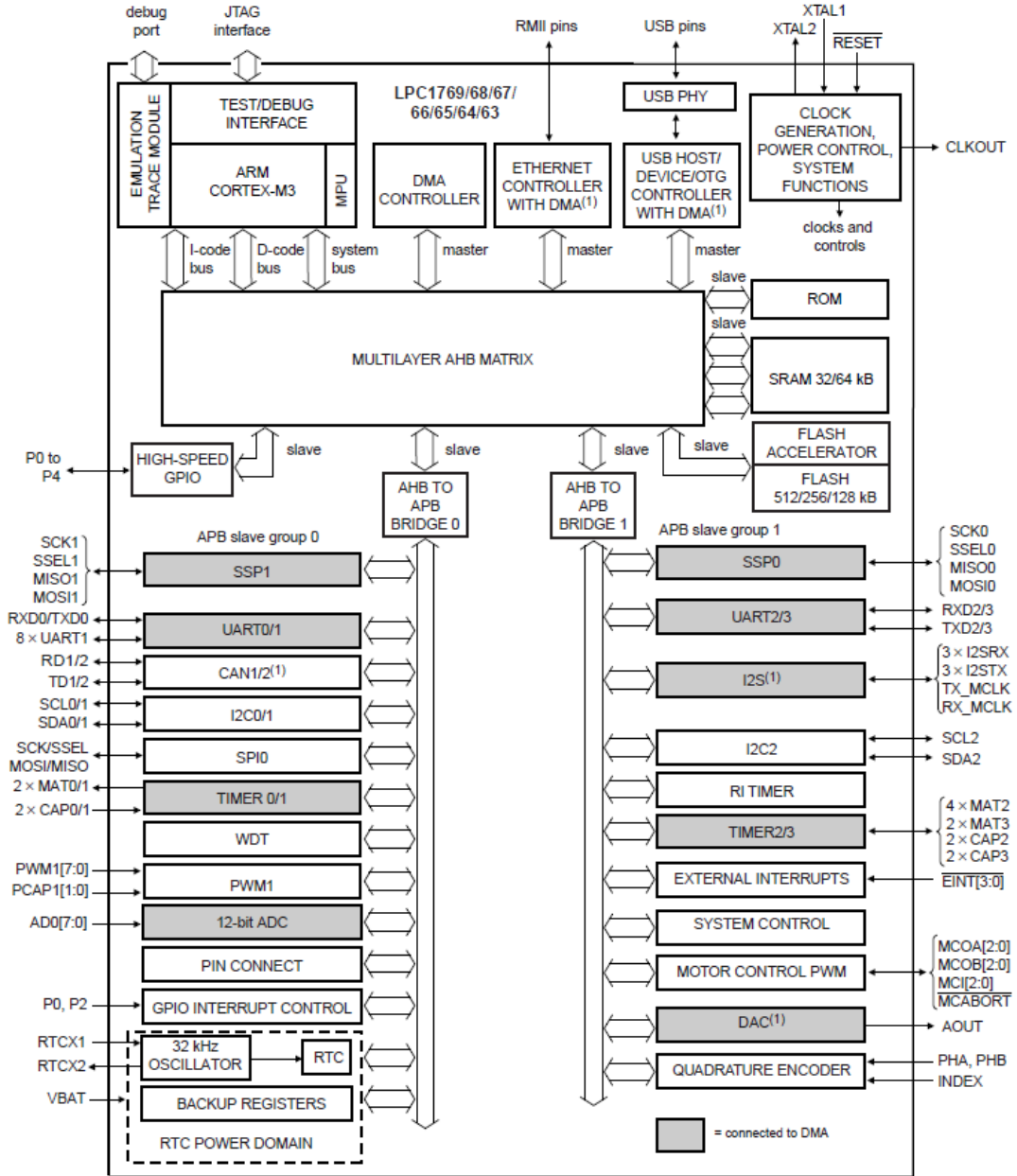
Tasarımda 12V'un 5V a dönüştürülmesinde Recom firmasının R7805-0.5 DC-DC çeviricisi kullanılmıştır[26]. R7805-0.5, 4.75VDC-32VDC giriş gerilimini 5VDC ye çevirmektedir. Kısa devre ve termal kapatma korumaları vardır. Ayrıca düşük ripple ve gürültü özelliğiyle öne çıkmaktadır. 5VDC'nin 3.3VDC'ye dönüştürülmesi için MIC5205-3.3 LDO çeviricisi kullanılmıştır. Şekil 3.2 güç bloğunun şematik tasarımı görülmektedir.



Şekil 3.2: Güç Bloğu.

### 3.1.2. Mikrodenetleyici Bloğu

Tasarlanan batarya yönetim sisteminde ölçüm kontrol ve yönetim fonksiyonlarının düzgün bir şekilde çalışmasını sağlayan kısım mikrodenetleyici bloğudur.



Şekil 3.3: LPC1768 Blok Diyagramı.

Tez çalışmaları sırasında yapılan incelemelerde geliştirilen batarya yönetim sistemi için yeni özellik ve fonksiyonların sisteme eklenebileceği öngörülmüştür. Bu sebeple ileri çalışmalar için güçlü bir platform oluşturması düşünülerek, tasarım sırasında NXP firmasının 32-bit Arm

Cortex-M3 mimariye sahip LPC1768 mikrodenetleyicisi tercih edilmiştir[21]. LPC1768'in daha ayrıntılı blok diyagramı için Şekil 3.3 incelenebilir.

Uygulama geliştirme platformu olarak LPC1768'in tercih edilmesinde,

- Yeni nesil ARM Cortex-M3 çekirdeğine sahip olması
- 100MHz'e kadar CPU frekansıyla, hesaplama işlemlerinin daha hızlı gerçekleştirilebilmesi
- 512kb'a kadar Flash Memory özelliğiyle geniş program belleği
- 64kb'a kadar RAM Memory ile binlerce kaydedilebilir değişken hafızası
- USB uygulamaları için Device/Host/OTG olarak kullanılabilmesi
- 4 adet UART, 2 adet CAN, 2 adet SPI, 3 adet I<sup>2</sup>C haberleşme ara yüzleri sayesinde geliştirilebilir kullanım alanı
- 8 kanallı 12 bit ADC, 10 bit DAC, 6 kanallı PWM çıkışı ile tüm analog ölçüm ve çıkışların sağlanabilecek olması
- SOC, DOD ve SOH hesaplamalarında kullanılacak dâhili ultra düşük güçlü bir RTC'te sahip olması ve bu RTC'nin ayrı bir besleme ile çalışabilmesi
- 70'e yakın genel amaçlı giriş çıkış pinine sahip olması
- On-chip Debugging özelliği sayesinde yazılım geliştirme sırasında program akışının izlenebilmesi gibi özellikler oldukça etkili olmuştur.

### 3.1.3.LTC6803 BMS Entegresi Bloğu

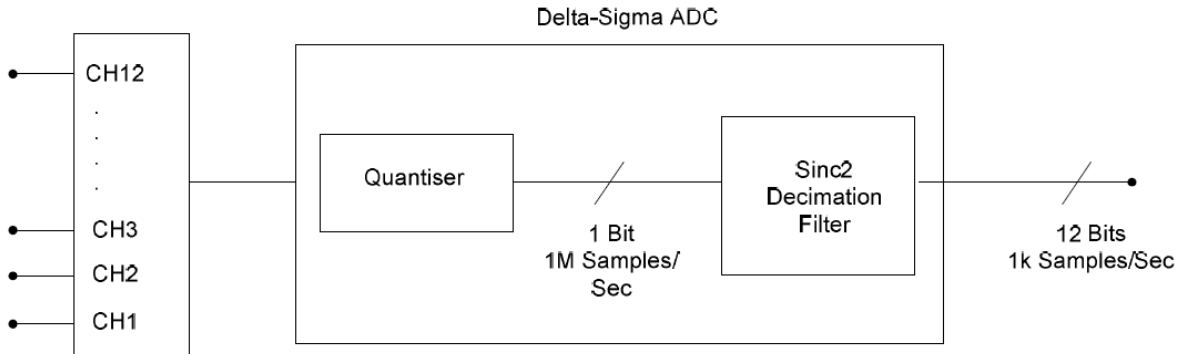
Bu projede Lineer Technology firmasına ait LTC6803-2 BMS entegre devresi kullanılmıştır. LTC6803-2 aynı anda 12 adet seri bağlanmış hücrenin ölçüm ve kontrolünü gerçekleştirebilmektedir. Ayrıca farklı tip kimyasal özelliklere sahip batarya ve süper kapasitör uygulamalarını desteklemektedir[18]. Herhangi bir mikrodenetleyici kullanmadan kendi aralarında seri haberleşme metoduyla master-slave yapısı kurularak 16 adete kadar LTC6803-2 entegresi eş zamanlı çalışabilmektedir. LTC6803-2 izole beslemeye izin vermektedir. Böylece enerji ihtiyacını ölçüm yaptığı bataryadan sağlamak zorunda olmadığından istenirse beslemesi kolaylıkla açılıp kapatılabilmektedir. Entegre devre batarya hücrelerinin gerilim ölçümleri için kullanıldığında toplam ölçüm hatası %0.25'ten daha azdır. LTC6803-2 bu özellikleri sayesinde elektrik enerjisinin depolandığı elektrikli araçlar, enerji yedekleme üniteleri, UPS uygulamaları gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

LTC6803 serisi içinde birçok farklı modeller bulunmaktadır. Bu modeller arasında ara yüz ve bacak bağlantıları farklı olmasına rağmen sağlanan temel işlevler neredeyse aynıdır. LTC6803-1/3 bitişik cihazlar için Daisy-Chains yapısıyla seri haberleşme uygulamalarında tercih edilirken, LTC6803-2/4 ayrı ayrı adreslenmiş uygulamalarda kullanılmaktadır. Özellikle, LTC6803-1/2 batarya paketinin en negatif potansiyel noktası olan  $V^-$  ucuna içten bağlanırken, LTC6803-3/4 bu iki bacağı birbirinden ayırmaktadır. Böylece parazit oluşumuna karşı bir koruma sağlayarak özellikle ilk hücrenin ölçüm doğruluğunu arttırmaktadır.

### 3.1.3.1. LTC6803 Fonksiyon Blokları

LTC6803-2 entegre devresi (Şekil 3.5) 12-bit  $\Delta\Sigma$ ADC, giriş multiplexeri, voltaj referansı, dengeleme devresi watchdog timer ve konfigürasyon registerlarından meydana gelmiştir.

Multiplexer, 12-bit  $\Delta\Sigma$ ADC ile batarya grubu arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. 60V'a kadar çalışabilen multiplexer, anahtarlamalı kondansatör metoduyla örnekleme yapmaktadır. Bu yöntem, ayrık tasarımlarda karşılaşılan CMRRR kısıtlamalarını ortadan kaldırmaktadır. Hücre gerilimleri bağlantı noktaları üzerinden multiplexer aracılığıyla anahtarlanarak, tek bir yüksek hassasiyetli  $\Delta\Sigma$ ADC ile ölçülmektedir. Böylece, hücre gerilimlerinin yüksek doğrulukta ölçülebilmesi için sadece bir ADC'nin hassas bir voltaj referansı ile kalibre edilmesi yeterli olmuştur.



Şekil 3.4: Delta Sigma ADC örnekleme saniyede 1M örnektir [19].

Dengeleme devresi, sahip olduğu dâhili MOSFET'ler yardımıyla ya da bağlanabilecek harici MOSFET'ler aracılığıyla batarya hücrelerinin fazla yükünün boşaltılmasını sağlamaktadır. Entegre devreye ölçüm komutu gönderildiğinde cihaz ADC üzerinden aldığı analog ölçüm

sonucunu 12 bitlik dijital bir veriye çevirmektedir. Operasyon bölümünde  $\Delta\Sigma$ ADC yapısı daha ayrıntılı anlatılacaktır.

LTC6803-2 BMS entegre devresi, seri bağlı batarya hücreleri arasındaki gerilim farklılıkların dengelenmesinde pasif dengeleme metodunu kullanmaktadır. Dengeleme devresi, pasif dengeleme için kendi içinde yarıiletken anahtarlara sahiptir. Bu yarıiletken anahtarlar minimum 20ohm iç dirence sahiptir. Bu özellik pasif dengeleme için dâhili anahtarların doğrudan kullanılmasına izin vermektedir. Ancak kullanım sırasında entegre devre paketi üzerinde aşırı ısınmanın olmaması için gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir. LTC6803-2'nin sahip olduğu dâhili yarıiletken anahtarlar, harici yarı iletken devre elemanlarını anahtarlama için kullanılabilir. Böylece daha güçlü FET'ler ve daha büyük dirençler kullanılarak dengeleme akımının artırılması sağlanabilmektedir. Kendi içinde bir dengeleme algoritmasına sahip olmayan entegre devre, dengeleme durumunun kontrolü için dışarıdan komut beklemektedir. Dengeleme komutu gönderildiğinde konfigürasyon registeri ayarlanır ve LTC6803 ihtiyaç fazlası yükü yarı iletken anahtarları açarak boşaltır. Eğer işlemci ile LTC6803-2 arasında haberleşme sırasında bir kesme gerçekleşmesi durumunda, deşarj anahtarının durumunu algılamak ve anahtarları kapatmak için watchdog timer kullanılır. Watchdog timer sistemin hataya düşmediğinden emin olmak için gereklidir. Eğer sistem hataya düşerse watchdog timer bütün registerları resetleyip çipin bekleme moduna geçmesini sağlar.

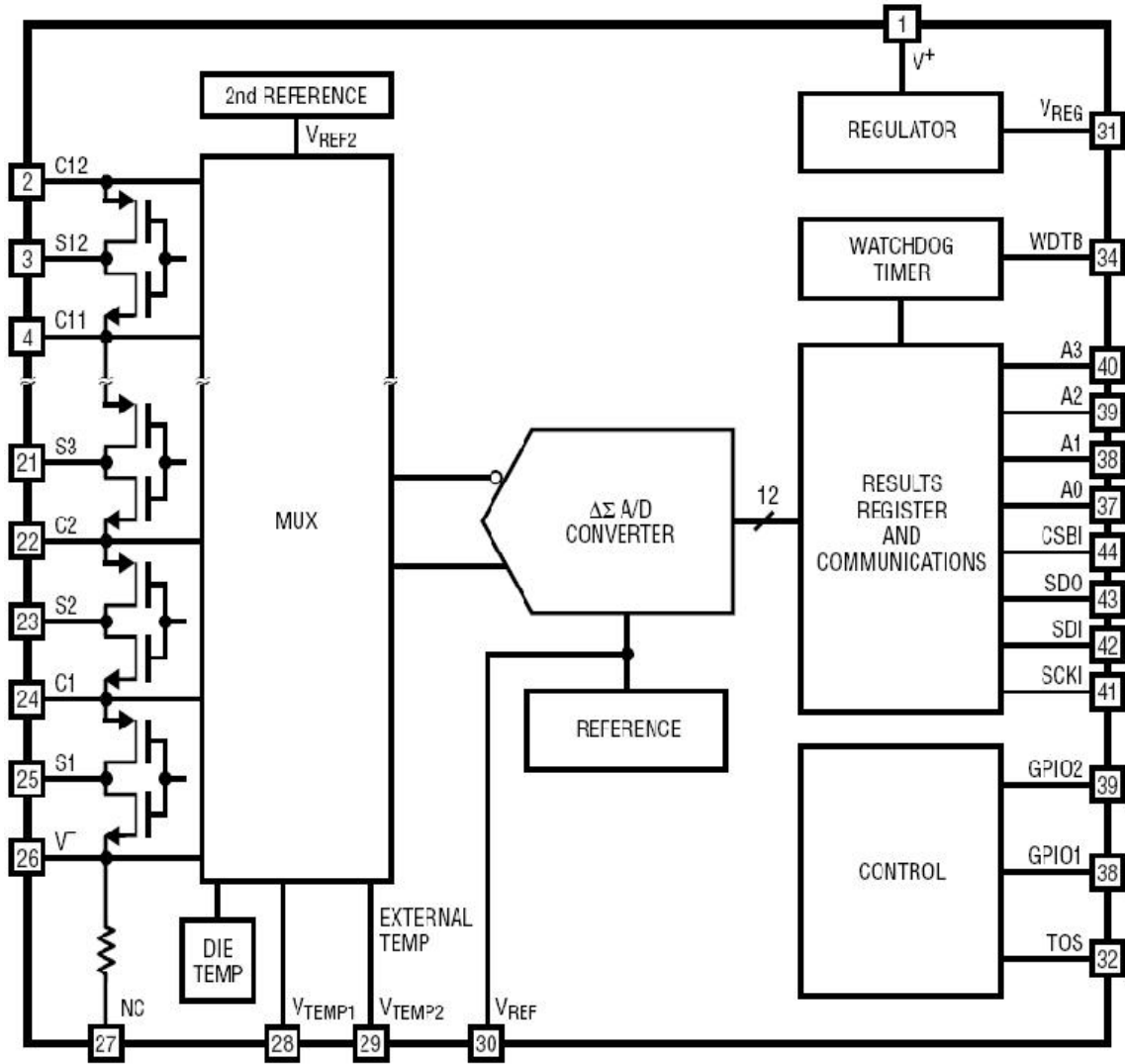
LTC6803-2, 150°C 'nin üzerindeki sıcaklıklarda çalışmaz. Eğer bu sıcaklıklara ulaşırsa entegre devre tüm registerlarını varsayılan değere sıfırlar. Bu durum LTC6803-2'yi düşük güç moduna geçirir, tüm deşarj anahtarlarını devre dışı bırakır ve devrenin çalışmasını durdurur. Dahili sıcaklık ölçümleri, hücre gerilim ölçümünde kullanılan aynı  $\Delta\Sigma$ ADC ile yapılmaktadır. Bu özellik, sıcaklığın entegre devre limitlerine ulaşması durumunda deşarj anahtarlarını devre dışı bırakabilmek için gerekli kontrolün başarılı bir şekilde yapılmasını sağlamaktadır. Dâhili sıcaklık ölçümleri 80 dereceye kadar garanti edilmektedir. Ancak uygulama ihtiyacına göre LTC6803-2 iki adet harici sıcaklık sensörü girişine sahiptir. Sensor girişi yardımıyla analog olarak ölçülen en büyük sıcaklık bilgisi TMP registerinde saklanır.

LTC6803-2 dış dünya ile dört telli SPI protokolü ile haberleşmektedir. Veri genişliği 8 Bit'tir. Maksimum çalışma frekansı 1MHzdir. Konfigürasyon ayarları, ADC başlat sinyali, deşarj anahtarları ayarı, batarya hücrelerinin yüksek ve düşük gerilim koruma ayarları ve birçok ayar SPI portu üzerinden yapılmaktadır. ADC çevirimi tamamlandığında tüm veriler LTC6803-

2'nin registerları üzerinde saklanır. Registerlarda ki tüm verilere SPI portu üzerinden yapılan sorgularla erişilmektedir.

### 3.1.3.2. LTC6803 Çalışma Şekli

LTC6803-2 ile ana işlemci arasında, birden fazla cihazın tek bir işlemci ile iletişim kurabilmesini sağlayan SPI uyumlu seri haberleşme ara yüzü kullanılmaktadır.



Şekil 3.5: LTC6803-2 entegre devresi blok diyagramı [18].

LTC6803-2 'ün üç çalışma modu vardır: donanım kapatma, bekleme ve ölçüm. Donanım kapatma modunda bir güç kaynağına ihtiyaç yoktur ancak bekleme modu seri haberleşme dışında bütün devre fonksiyonlarının kapalı olduğu enerji tasarruf modudur. Ölçüm modunda, cihaz hücre gerilim ve sıcaklıklarını ölçer daha sonrada performans sonuçlarını değerlendirmek üzere ölçüm sonuçlarını kullanıcıya geri verir. Ölçüm sırasında ADC, 12 bitlik bir çıktı verir.



0V mutlak değeri için, karşılık gelen hex kodu 0x200'tür ve 0x000 hex koduna karşılık gelen gerilim değeri de -0.768V'dir. ADC'nin çalışma aralığı -0.768V ile 5.376V arasındadır, yani hex olarak 0x000 ile 01000 arasındadır. Uygulama sırasında en uygun kullanım aralığı -0.3V ile 5V arasındadır. Konfigürasyon registerına ölçüm komutu geldiği sırada eğer dengeleme MOSFET'leri açıksa otomatik olarak kapatılır, ölçüm yapılır ve daha sonra tekrar açılır.

LTC6803-2 iki adet genel amaçlı dijital giriş/çıkış bacağına sahiptir(GPIO). GPIO konfigürasyon bitine eğer eğer lojik "0" yazıldıysa, sistem open-drain çıkışını aktif etmektedir. Böylece çevresel elemanların açık ve kapalı durumları kullanıcılar tarafında kontrol edilebilir. Buna ek olarak eğer GPIO konfigürasyon bitlerinden biri lojik "1" yapılırsa da GPIO o pini bir giriş pini olarak ayarlamaktadır.

LTC 6803-2, ana işlemci ile birden fazla cihazın aynı platform üzerinde haberleşmesine olanak sağlayan SPI seri haberleşme protokolüyle iletişim kurmaktadır. Cihazların her biri kullanıcılar tarafından belirlenen bir adres ile tanımlanır. Her bir cihaz için adresleme A0, A1, A2 ve A3 pinleri üzerinden yapılmaktadır. Fiziksel olarak SPI haberleşme protokolünde kullanılan pinler CSBI, SCKI, SDI ve SDO'dur.

Şekil 3.5' teki blok diyagram, LTC6803-2'nin tüm alt modüllerini ve bunlara karşılık gelen pinleri göstermektedir.

Pin1 ( $V^+$ ), pozitif besleme noktası olup, pil takımının en pozitif potansiyeline veya harici güç kaynağına bağlıdır. Ayrıca, izole edilmiş güç kaynağı potansiyeli olarak da kullanılabilir.

Pin2, Pin4, Pin6, 8, Pin10, Pin12, Pin14, Pin16, Pin18, Pin20, Pin22, Pin24 (C1 ~ C12) akü hücrelerinin veya süper kondansatörlerin voltajlarının giriş noktalarıdır.

Pin26 ( $V^-$ ), pil takımının en negatif terminaline bağlanan en negatif potansiyeldir.

Pin3, Pin5, Pin7, Pin9, Pin11, Pin13, Pin15, Pin17, Pin19, Pin21, Pin23, Pin25 (S1 ~ S12) pil hücrelerini dengelemek için kullanılan pinlerdir. Her biri bir dâhili MOSFETler ile bağlantılıdır. Bir pil hücresi aşırı şarj algılanırsa, kullanıcılar tarafından gönderilen komutla MOSFET açılır ve yük üzerine deşarja başlanır.

Pin27, Pin33 (NC) dâhili olarak Pin26'ya bağlanır ve kullanılmazlar.

Pin28, Pin29 (VTEMP1, VTEMP2), termistörden hücre sıcaklığını izleyen ve sonuçları TMP kayıt biriminde saklayan sıcaklık sensörü girişi olarak kullanılır.

Pin30 (VREF), 3.065V gerilim referansının çıktısını verir.

Pin31 (VREG), doğrusal voltaj regülatörünün çıktısıdır.

Pin32 (TOS), yağın giriş pininin üst kısmını belirtir.

Pin34 (WDTB), watchdog timer çıkışıdır.

Pin35, Pin36 (GPIO1,2) genel amaçlı dijital giriş / çıkış pinlerdir. Bir GPIO konfigürasyon biti lojik '0' yapılırsa, açık devre çıkışını etkinleştirir. Eğer GPIO konfigürasyon biti lojik '1' yapılırsa, GPIO yüksek empedanslı bir giriş olacaktır.

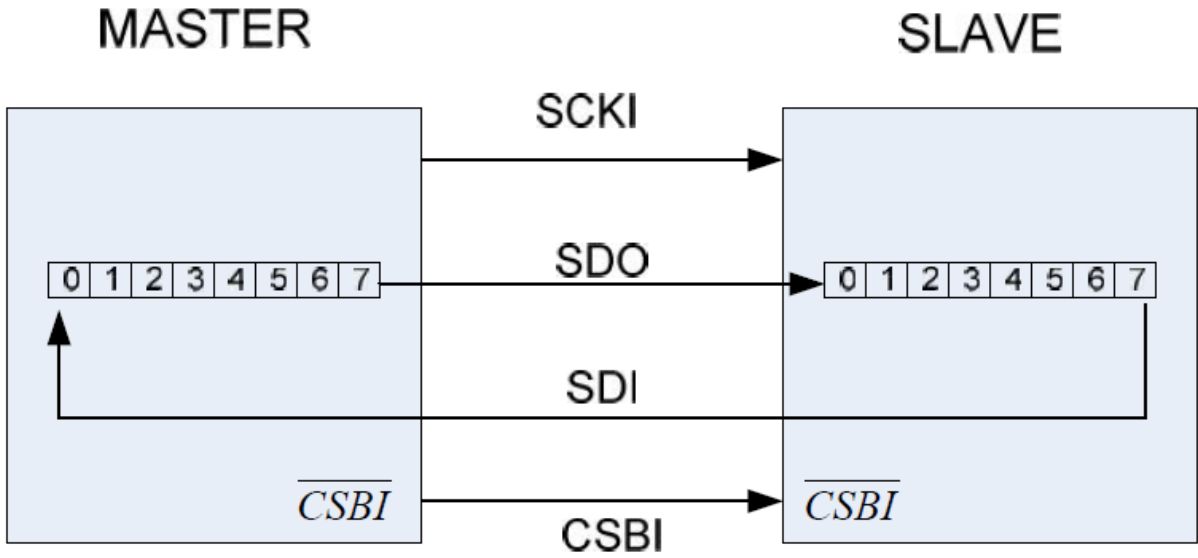
Pin37, Pin38, Pin39, Pin40 (A0, A1, A2, A3) ana işlemciye bağlı olan her bir aygıtın adresini ayarlamak için kullanılan adres pinleridir.

Pin41, Pin42, Pin43, Pin44 (SCKI, SDI, SDO, CSBI) seri bilgisayar giriş pinleri olup, ana PC ile iletişim kurmaktadır.

### **3.1.3.3. LTC6803 Haberleşme Protokolü**

LTC 6803-2, ana işlemci ile birden fazla cihazın aynı platform üzerinde haberleşmesine olanak sağlayan SPI seri haberleşme protokolüyle iletişim kurmaktadır. SPI protokolünde cihazlar kendi aralarında çift yönlü, yani tam dubleks modda haberleşirler. Cihazlar arasında veri transferi master/slave yapısıyla sağlanır ve veri frame ana cihaz tarafından başlatılır.

Fiziksel olarak SPI haberleşme protokolünde kullanılan 4 adet bağlantı noktasına ihtiyaç vardır. Bunlar sırasıyla CSBI, SCKI, SDI ve SDO'dur. CSBI slave seçme pinidir. Master cihazdan çıkar ve aktive edilmesi için düşük pozisyon olarak ayarlanmalıdır. SCKI, master cihaz tarafından oluşturulan seri saat pinidir. SDI master'ın giriş ve slave'lerin çıkış pinidir. SDO ise master'in çıkış ve slave'lerin giriş pinidir. LTC 6803-2'nin fiziksel katmandaki bu dört pin, sırasıyla Pin41, Pin42, Pin43, Pin44 pinleridir.



Şekil 3.6: SPI Veri Dizisi İletimi.

Bir veri aktarımını başlatmak için öncelikle SCKI hattındaki saat sinyali yapılandırılmalıdır. Saat sinyali önceden tanımlanmış bir frekans olarak ayarlanır. Örneğin, LTC6803-2 düşük gerilim ve yüksek gerilim kesme işlemi için durum sorgulama yöntemi kullanılıyorsa, çıkış sinyali 1kHz olarak ayarlanır. Özellikle, LTC 6803-2 SPI veri bağlantısı, SCKI yükselen kenarda SDI'yi sabit tutacak şekilde yapılandırılmıştır.

Master cihaz, CSBI hattında slave cihaza lojik 0 çıkışı verir ve bu sinyal tüm veri dizisi aktarımı sırasında lojik 0 olarak saklanır. Bağlı olan tek bir slave cihazı için, slave seçim pini olan CSBI sinyali yüksekteken alçağa geçtiğinde veri iletimi başlar. Eğer birden fazla slave aygıt kullanılıyorsa, bunların her biri için farklı bir slave seçim pini kullanmak gerekmektedir. Birden fazla slave cihaz kullanıldığında eğer seçim pini kullanılmazsa CSBI hattında yüksek empedans oluşur. Bir yazma komutu ayarlandığında, veriler daha sonra CSBI hattının yükselen kenarında kilitlenir.

Veri dizisi aktarımı tam dubleks modundadır. Master cihaz ve slave cihazların her biri sekiz bitlik bir registera sahiptir. Register içindeki byte saat ile birlikte kayacaktır. Veriler önce en önemli bit (MSB) ile kaydırılır. Bir MSB aktarıldığında, en az anlamlı yeni bir bit registerı değiştirir. LTC 6803-2 cihazı için, yazma modu sırasında, SDI satırındaki veri dizisi, saatin yükselen kenarında ana kayıt defterine geçer. Okuma modunda, SDO hattındaki veri dizisi SCKI saatinin düşen kenarında iletilir.

Birden fazla slave cihaz uygulaması için, şu anda kullanılmayan bazı slave cihazlar varsa, slave seçilen PIN CSBI devre dışı bırakılır. SCKI ve SDO hattındaki veri dizisi kabul edilmeyecektir. SDI hattı da olabildiğince inaktif kalmalıdır. Bununla birlikte, LTC6803-1 ve LTC6803-3'in diğer versiyonları için bitişik cihazlarla iletilen seri bağlantı daisy chain yapısıdır.

#### **3.1.3.4. Karşılaştırma**

Maxim Teknoloji firmasının da LTC6803'e benzer izleme ve kontrol fonksiyonlarına sahip bir batarya yönetim sistemleri için kullanılabilecek entegre devresi vardır. Seri bağlanmış Li-ion, NiMH gibi farklı kimyasal özelliklere sahip batarya hücrelerinin 12 hücreye kadar ölçümünü yapabilen bu entegrenin ayrıca grafik ara yüzü desteği de bulunmaktadır. 12'den fazla seri bağlı hücreye sahip batarya paketlerinde bu entegreler birbirleri arasında haberleşerek bağlantı kurabilmektedirler.

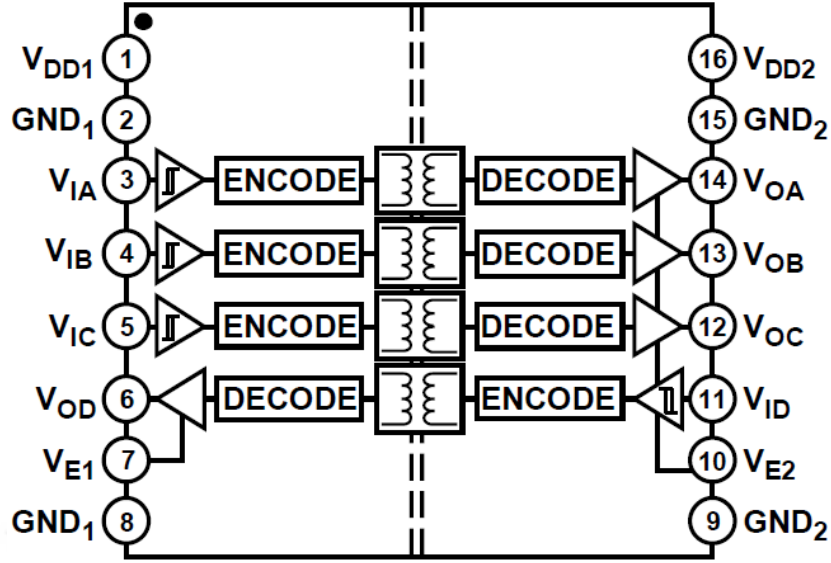
Macim ailesinin MAX11068 ürünü LTC6803 ile karşılaştırıldığında eşdeğer bir BMS entegre devresidir.

#### **3.1.4. ADuM1401 Dijital İzolatör Bloğu**

ADuM1401 Analog Devices, firmasının iCoupler teknolojisine dayanan dört kanal dijital izolatördür. Yüksek hızlı CMOS ve monolitik hava çekirdekli trafo teknolojisini bir araya getiren bu yalıtım bileşenleri, optokuplör cihazları gibi alternatiflerden daha üstün performans özellikleri sunmaktadır. Genel olarak, endüstriyel uygulamalarda SPI, RS-232 / RS-422 / RS-485 alıcı-vericileri arasında izolatör olarak kullanılmaktadır.

iCoupler teknolojisi, LED'lerin ve fotodiyotların kullanılmasını önleyerek optokuplörler ile sıkça karşılaşılan tasarım zorluklarını ortadan kaldırmıştır. Belirsiz akım aktarım oranları, doğrusal olmayan aktarım fonksiyonları, sıcaklık ve ömür etkileri gibi tipik optokuplör sıkıntıları, iCoupler dijital izolatör teknolojisiyle artık bir tasarım problemi olmaktan çıkmıştır.

iCoupler ürünleri harici sürücülere ve diğer ayrık bileşenlere olan ihtiyaç duymamaktadır. Ayrıca iCoupler teknolojisi diğer optokuplörlerle karşılaştırıldığında aynı sinyal veri hızlarında gücünün onda altısını tüketir.



Şekil 3.6: ADUM1401 Dijital İzolatör.

ADuM1401 izolatörler, çeşitli kanal yapılandırmaları ve veri hızlarında dört bağımsız izolasyon kanalı sağlar (bkz. Şekil 3.7). Her iki taraftaki besleme gerilimi 2.7 V ile 5.5 V arasında çalışabilir. Düşük voltaj sistemleri ile uyumluluk sağlar ve izolasyon bariyerinde voltaj çeviri işlevselliği sağlar. Buna ek olarak, ADuM1401 düşük darbe genlik bozulması (CRW derecesi için  $<2$  ns) ve kanal-kanal eşleştirmesi (CRW sınıfı için  $<2$  ns) sağlar. Diğer optokuplör alternatiflerinden farklı olarak, ADuM1401 izolatörleri, giriş mantığı geçişlerinin olmaması ve birinin güç kaynağına uygulanmadığında DC doğruluğu garanti eden patentli bir yenileme özelliğine sahiptir.

### 3.1.5. Haberleşme Bloğu

Batarya yönetim sistemi tarafından ölçülen ve hesaplanan değerler haberleşme yoluyla dış dünyaya aktarılır. Ayrıca sistemin ihtiyaçlarına göre, bazı parametreler de (aygıt numarası, eşik değeri, kalibrasyon katsayısı vb.) modüllere aktarılabilir.

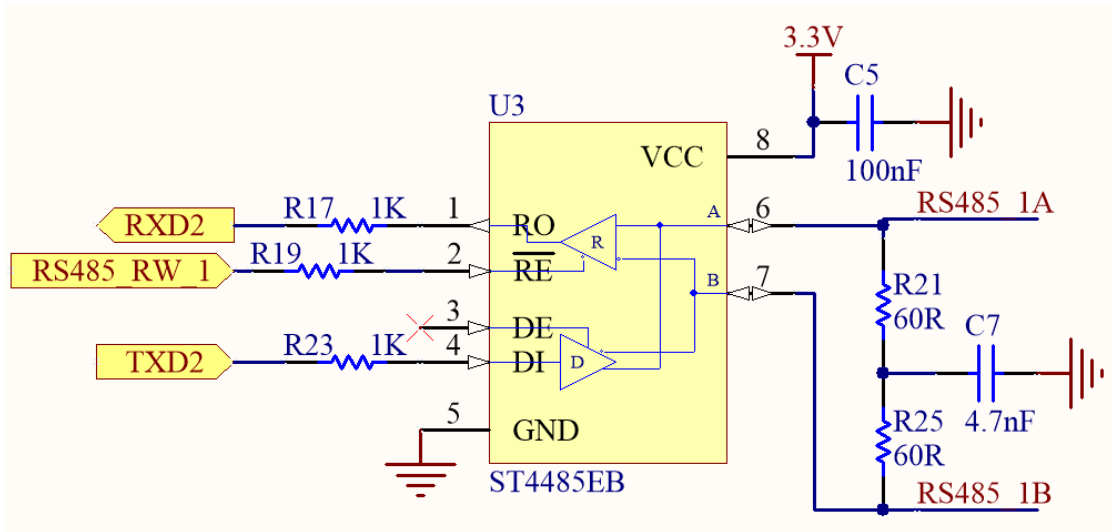
Endüstriyel ortamlarda birçok cihaz arasında haberleşmenin sağlıklı şekilde gerçekleşmesi için, gürültü oranı az, çeşitli hata algoritmalarıyla beraber çalışabilen çeşitli haberleşme protokolleri ve fiziksel katmanları kullanılır. RS232, CANBUS, RS422, RS485 gibi çeşitli protokoller endüstride de kullanılan haberleşme protokolünden birkaçıdır. Bu protokoller iletişim hızı, iletişim menzili, gürültü duyarlılığı gibi özellikleriyle birbirinden ayrılır.

Tasarımda, Master-Slave yapısı kurularak birkaç modülün aynı hat üzerinden haberleşmesi hedeflenmiştir. Kolay kullanımı, gereken haberleşme menzili ve gürültü oranı gibi özellikler göz önünde bulundurularak modüllerin kendi aralarında haberleşmesi için RS485 iletişimi, Master modülün dış dünya ile haberleşmesi içinde RS485 ve RS232 iletişiminin kullanılmasına karar verilmiştir. Bu kapsamda sistemin dış haberleşme bloğu 4 çıkışa sahiptir. Bunlar sırasıyla

- RS485-1 : Master-Slave haberleşmesi
- RS485-2 : Master- Kullanıcı Arayüzü haberleşmesi
- RS232-1 : Master- Kullanıcı Arayüzü haberleşmesi
- RS232-2 : Master-LCD gösterge haberleşmesi

RS485 iletişimde, modüller haberleşmek için iki veri hattını ortak kullanırlar. İletişim yarı duplex olarak, 115200 Baudrate hızında, izolasyonlu olarak gerçekleştirilir.

RS485 veri iletişimi için, ST firmasının ST4485EB kodlu entegresi kullanılmıştır(Şekil 3.8). Entegre, esnek çalışma gerilimi (3V -5V), 64 noktaya kadar iletişim kapasitesi,  $\pm 15\text{kV}$  ESD koruması, aşırı yük koruması için akım sınırlama, termal kapatma, geniş çalışma sıcaklığı(-40 ila  $+105^\circ\text{C}$ ) yüksek iletişim hızı ( 20Mbps) özellikleriyle, öne çıkmaktadır [23].

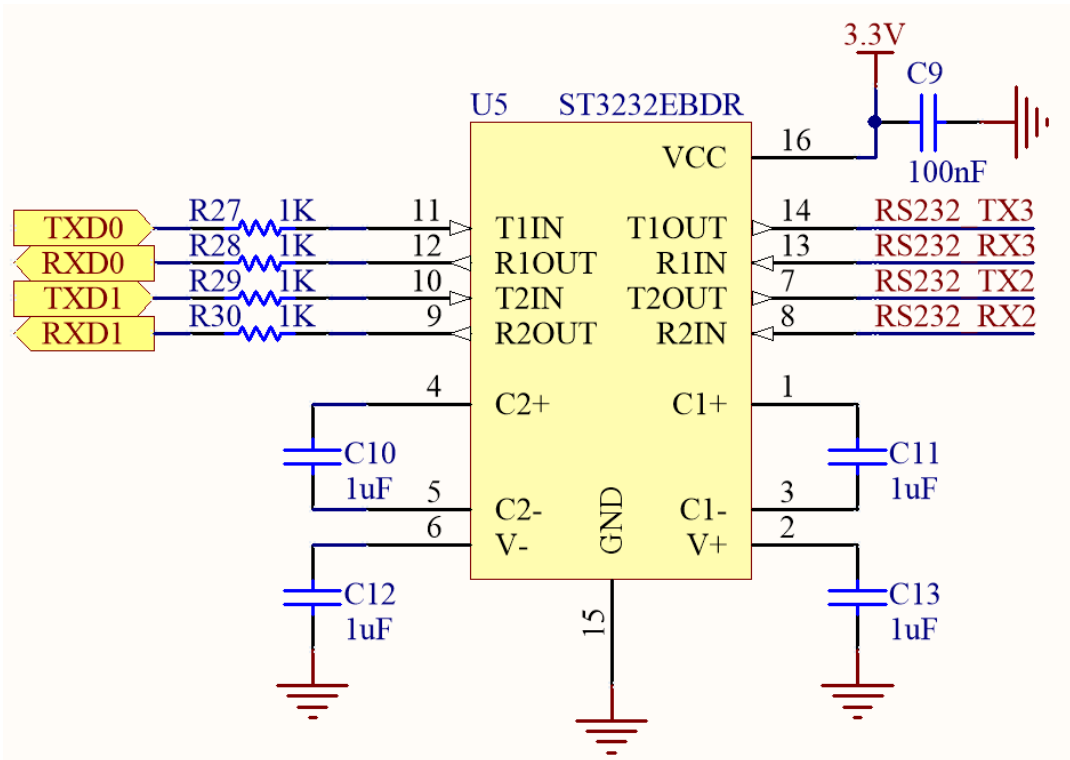


Şekil 3.7: ST4485EB RS485 entegresi.

Modüller RS485 iletişim ağında kendilerine veri gönderme isteği gelmediği sürece dinleme konumundadırlar. Kendi aygıt numaralarıyla ilgili bir istek geldiğinde toplamış olduğu verileri gönderme konumuna geçer ve veri gönderimi bittikten sonra tekrar dinleme konumuna geri dönerler.

Master BMS dış dünya ile RS232 portu üzerinden iletişim kurar. İletişim yarı dubleks olarak, 38400 Baudrate hızında, izolasyonlu olarak gerçekleştirilir.

RS232 veri iletişimi için, ST firmasının ST3232EBDR kodlu entegresi kullanılmıştır(Şekil 3.9). Entegre, esnek çalışma gerilimi (3V-5.5V),  $\pm 15\text{kV}$  ESD koruması,  $300\mu\text{A}$  kaynak akımı, garanti edilen 250kbps data hızı özellikleriyle, öne çıkmaktadır [24].



Şekil 3.8: ST3232EBDR RS232 Entegresi.

### 3.2.GÖMÜLÜ YAZILIM

Mikrodenetleyici yazılım geliştirme çalışmaları için Keil uVision derleyicisi kullanılmıştır. Keil'in tercih edilmesinde geliştirme platformunun oldukça güçlü olması örnek çalışmaların ve derleyici hakkında bilgilerin oldukça fazla olması ve sektörde en yaygın kullanılan program olması etkili olmuştur. Keil sahip olduğu debugger alt yapısıyla yazılım doğrulama çalışmaları içinde oldukça kolaylık sağlamaktadır.

Mikrodenetleyici yazılımı, her bir modülün üzerinde bulunan ID pininin durumuna göre çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Eğer modül IDsi 1000 ise bu modül kendisinin Master olduğunu anlıyor ve öncelikle 16ıncı ID'ye (1111) kadar sisteme bağlı olan cihazlara soru sorarak kimlerin hatta olduğunu öğrenmektedir. ID'sini öğrendiği BMS modüllerinin sırayla hesaplamış oldukları sıcaklık ve hücre gerilim bilgilerini toplayarak sistemin güvenli çalışma koşulları içinde bulunup bulunmadığına karar vermektedir.

**Tablo 3.1:** Median Filtre Tablosu.

<b>Filtrelenecek Dizi: G</b> =[25, 35, 25, 24, 26, 30, 28, 40, 25, 26]			
	<b>Giren Çerçeve</b>	<b>Sıralanmış Çerçeve</b>	<b>Çıkış</b>
MedFilt [1]	[25, 25, 35]	[25, 25, 35]	25
MedFilt [2]	[25, 35, 25]	[25, 25, 35]	25
MedFilt [3]	[35, 25, 24]	[24, 25, 35]	25
MedFilt [4]	[25, 24, 26]	[24, 25, 26]	25
MedFilt [5]	[24, 26, 30]	[24, 26, 30]	26
MedFilt [6]	[26, 30, 28]	[26, 28, 30]	28
MedFilt [7]	[30, 28, 40]	[28, 30, 40]	30
MedFilt [8]	[28, 40, 25]	[25, 28, 40]	28
MedFilt [9]	[40, 25, 26]	[25, 26, 40]	26
MedFilt [10]	[25, 26, 26]	[25, 26, 26]	26
<b>Filtrelenmiş Dizi: MedFilt</b> =[25, 25, 25, 25, 26, 28, 30, 28, 26, 26]			

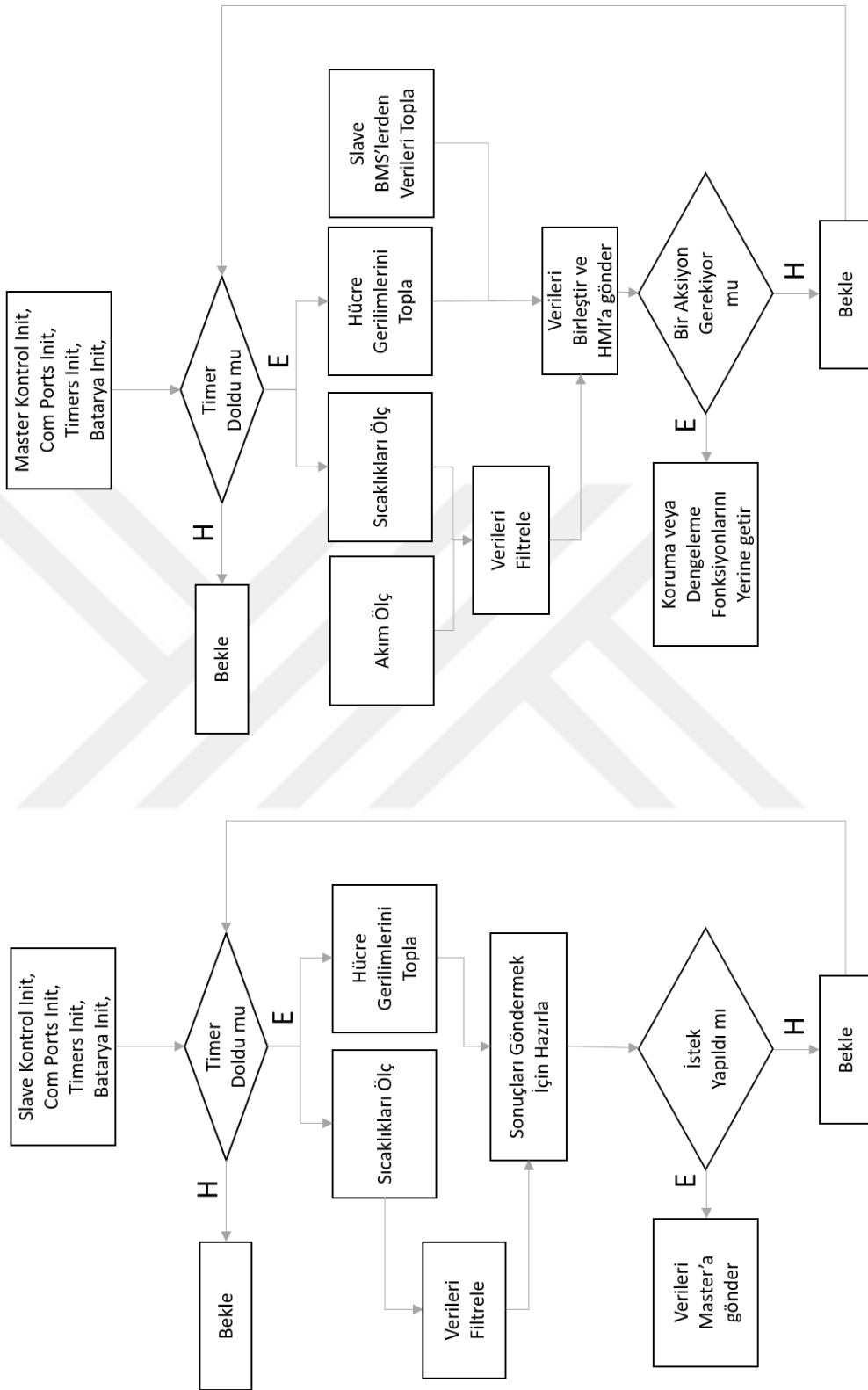
Batarya hücrelerinin gerilim ölçümü doğrudan LTC6803-2 üzerinden yapılmaktadır. Ölçüm sonuçları da mikrodenetleyiciye SPI protokolü aracılığıyla iletilmektedir. Bu sebeple yazılım tasarımı sırasında batarya hücrelerinin gerilim ölçümü ve ölçüm sonucunun doğruluğunun artırılması üzerine ekstra bir çalışma yapılmamıştır. Ancak sıcaklık ve akım ölçümleri için doğrudan mikrodenetleyicinin analog girişleri kullanılmasından dolayı, ölçüm sırasında oluşabilecek hata oranının düşürülmesi ve ölçüm sonuçlarındaki anlık değişimlerin filtrelenmesi



gerekmektedir. Bu sebeple ölçüm sonuçları önce 10 baytlık median filtre (ortanca filtresi) daha sonra 10 baytlık bir aritmetik ortalama filtresinden geçirilerek kullanılmıştır.

Median filtre, genellikle görüntü ve sinyal işleme uygulamalarında, sistemdeki gürültüleri temizlemek için kullanılan bir yöntemdir. Bizim uygulamamızda median filtrenin kullanım amacı, ölçüm yapılan analog girişte gürültü sebebiyle beklenen değerden çok uzakta kalan anlık rippleları veri grubu içinden uzaklaştırmaktır. Median filtrede filtre toplam büyüklüğü ve pencere büyüklüğü olmak üzere iki değişken vardır. Filtre büyüklüğü, filtrelenecek veri dizisinin uzunluğu anlamına gelmektedir. Filtrelenecek dizinin boyutu arttıkça ölçüm hassasiyeti düşmeye başlar. Bunun nedeni filtrelenecek dizinin elemanları tamamlanana kadar, ADC çevirimi yapılmasıdır. Bu geçen zamanda diliminde ADC çevirim sonuçlarının değişebilecek olmasıdır. Filtre penceresi, filtrelenecek veri dizisinin kaç elemanlı gruplar halinde median filtreye sokulacağını ifade eder. Tez çalışması kapsamında pencere boyutu 3 eleman olarak belirlenmiştir[27][29].

Topla 3.1'de median filtreye girecek olan 10 elemanlı veri dizisi  $G$  median filtreye giren çerçeveler belirtilmiştir. Median filtre uygulanırken filtrenin giriş ve çıkış eleman sayılarının eşit olmasını sağlamak amacıyla MedFilt [1] hesaplanırken  $G[1]$  iki kez MedFilt [10] hesaplanırken  $G[10]$  iki kez tekrarlanmıştır. Filtreleme işlemi tamamlandıktan sonra MedFilt dizisinin ortalaması alınır. Ortalaması alınan veriler işlemci içinde artık kullanıma hazırdır. Tablo 3.1'deki örnekte ortalama sonucu 26,4'tür. Görüleceği üzere giriş dizisi içinde bulunan gürültü sebebiyle oluşabilecek 40,30 gibi büyük değerler sistemden dışarıya çıkarılmıştır. Gömülü yazılıma ilişkin akış şemaları slave BMS için şekil ve master BMS için şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.9: Akış şemaları.

### 3.2.1. Haberleşme Protokolü

Tasarlanan Batarya Yönetim Sistemi master-slave yapısıyla 16 modüle yani 192 seri bağlı bataryaya kadar kullanılabilir. Gelecekte proje çıktısı BMS'in diğer sistemlerle de çalışmasını sağlayabilmek amacıyla bir haberleşme protokolü geliştirilmiştir. Haberleşme alt yapısı istek ve cevap çerçevelerinden oluşmaktadır. Her isteğe özel bir cevap vardır.

Veri iletişiminin sağlıklı yapılıp yapılmadığının kontrolü için gönderen tarafta bir checksum hesabı uygulanmaktadır. Alıcı tarafta gelen verileri aynı checksum algoritmayla tekrar değerlendirip, sağlama yapmaktadır. Eğer sonuç gönderilen değerle aynı ise iletişimin hatasız yapıldığı varsayılır ve dizi elemanları çeşitli işlemler için ayıklanmaya başlanır.

```

/**
 * @brief LTC6803 için PEC verisini hesaplar.
 * @param array : Hesaplanacak bufferin başlangıç adresi
 * @param len : Hesaplanacak veri adeti
 * @return PEC
 * @note Başlangıç Değeri 0x41 (Datasheet)
 *  $x^8+x^2+x^1+1 = 0000\ 0111 = 0x07$ 
 */
uint8_t CalculatePEC(uint8_t *array, uint8_t len){
    uint8_t rem = 0x41;
    uint8_t i=0, j=0;

    for(i=0; i<len; i++) {
        rem = rem ^ array[i];
        for(j=0; j<8; j++) {
            if(rem & 0x80) { // if leftmost (most significant) bit is set
                rem = (rem << 1) ^ 0x07;
            } else {
                rem = rem << 1;
            }
        }
    }

    return rem;
}

```

**Şekil 3.10:** Checksum Algoritması.

Yazılımda modülden uzak cihaza veri gönderme ve uzak cihazdan modüle yapılan isteklerin protokolü istek-cevap olacak şekilde tasarlanmıştır. Haberleşme protokolünün ayrıntıları EK-18'dedir.

### 3.3.KULLANICI ARAYÜZÜ

Batarya ile ilgili bilgilerin net bir şekilde yorumlanabilmesi ve farklı batarya konfigürasyonlarına yönelik, batarya yönetim sisteminin koruma parametrelerinin kullanıcı tarafından ayarlanabilmesi için bir kullanıcı ara yüzüne ihtiyaç vardır.

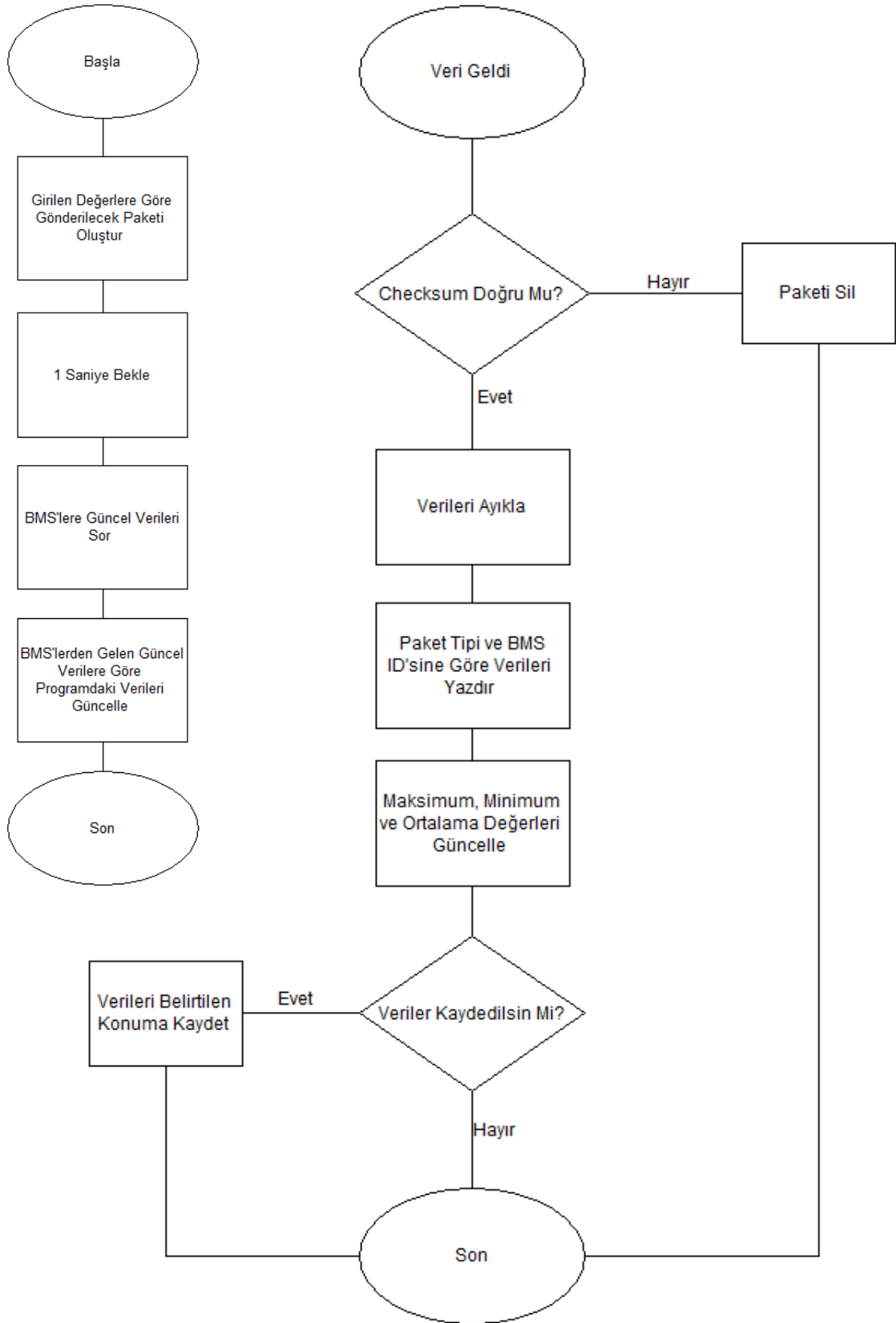
Bu proje kapsamında tasarlanan kullanıcı ara yüzü Microsoft Visual Studio 2013 uygulaması üzerinde C# programlama diliyle geliştirilmiştir. Şuan için sadece Windows işletim sistemli cihazlarda kullanılabilen ara yüz, batarya yönetim sistemiyle RS232 veya RS485 portları üzerinden iletişim kurmaktadır. Bilgisayar ile BMS arasında bu çevirimi sağlamak için Şekil 3.11’ da ki gibi çeviriciler kullanılmaktadır.

Bilgisayar ara yüzünün batarya yönetim sistemi ile olan haberleşmesi sırasında oluşabilecek kararsız çalışmaların önüne geçmek amacıyla daha önce bölüm 3.1.7 de bahsedilen haberleşme protokolü kullanılmaktadır. Bu protokol referans alınarak geliştirilen kullanıcı ara yüzünün program işlevlerinin akış şeması Şekil 3.12 belirtilmiştir.

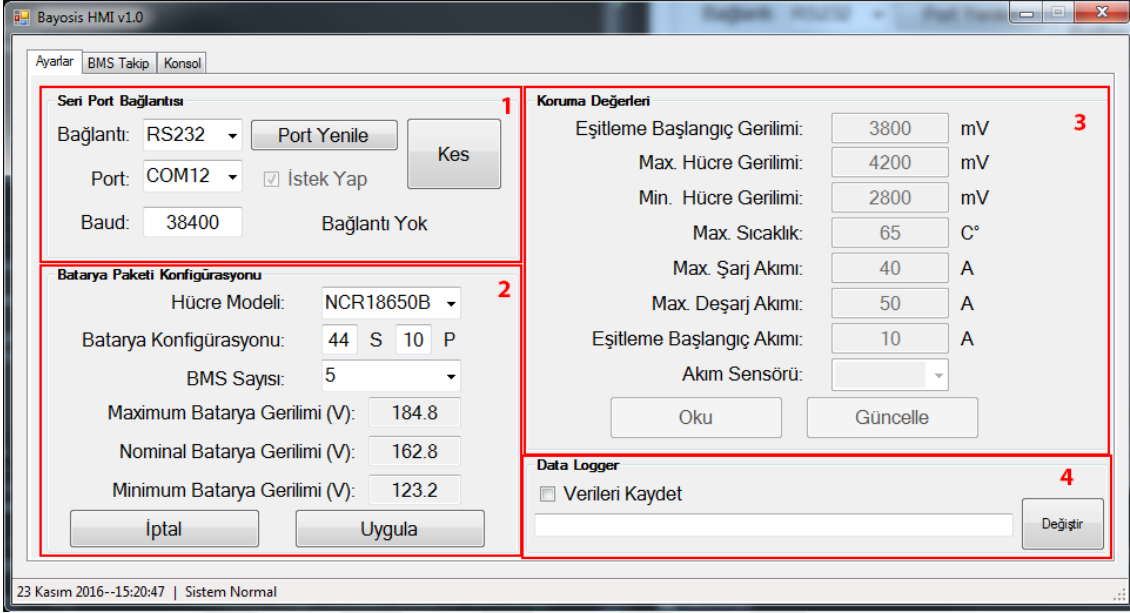


**Şekil 3.11:** RS485-to-USB ve RS232-to-USB çeviriciler.

Grafik kullanıcı ara yüzü, kullanım kolaylığı sağlamak amacıyla üç pencereden oluşmaktadır. Bu pencereler sırasıyla BMS konfigürasyon ayar paneli (Şekil 3.13), batarya izleme paneli (Şekil 3.14) ve konsol(Şekil 3.15) panelidir.



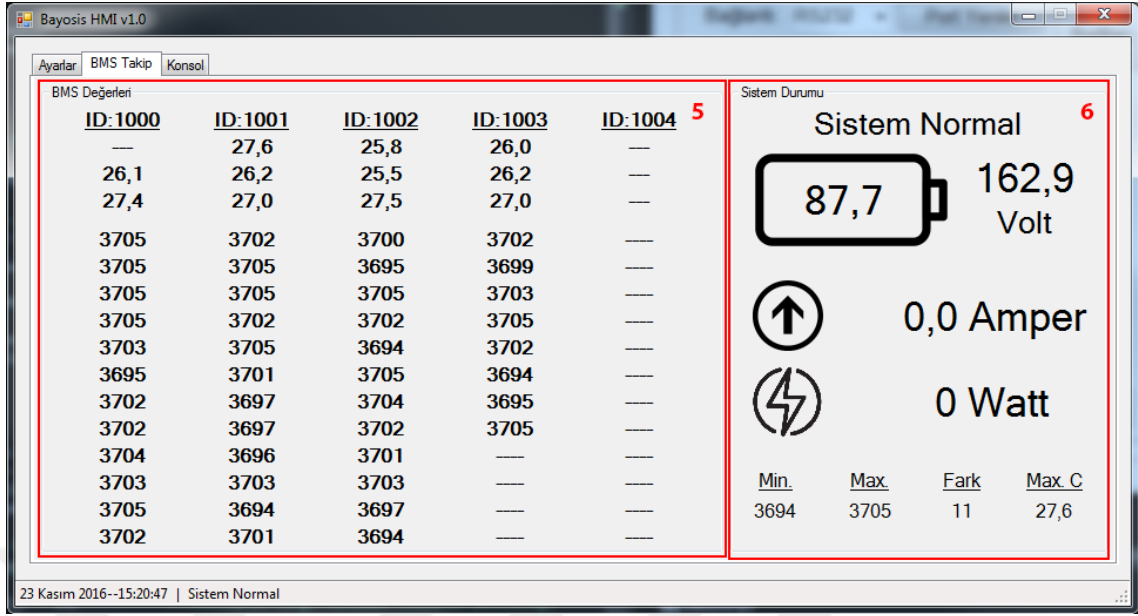
Şekil 3.12: Bilgisayar ara yüzü akış diyagramı.



**Şekil 3.13:** Bilgisayar ara yüzü ayarlar sayfası.

BMS konfigürasyon ayarları panelinin temel olarak dört işlevi vardır. Bunlar sırasıyla;

- Bölüm 1: Bu bölümde BMS lerin kullandığı RS232 ve RS485 bağlantıları arasında seçim yapılır ve uygun baud rate ve COM port ayarlanıp, bağlan butonu ile BMS'ler ve program arasında veri alışverişi başlatılır. RS485 haberleşmesi kullanılırken istek yapılıp yapılmayacağı manuel olarak seçilebilir. RS232 38400, RS485 115200 bps baud rate kullanır.
- Bölüm 2: Batarya bilgilerinin ayarlandığı bölümdür. Burada seçilen hücre modeli ve batarya konfigürasyonuna göre paketin gerilim seviyeleri ve koruma değerleri ayarlanır. Farklı batarya gerilimleri ve koruma değerleri için hücre modelinden "Diğer" seçeneği seçilip, ayarlar ondan sonra yapılır. BMS sayısı RS485 haberleşmesinde kaç modüle istek yapılacağını belirtir.
- Bölüm 3: Batarya paketinin hangi değerlerde korumaya gireceğinin okunduğu ve ayarlandığı bölümdür.
- Bölüm 4: Gelen verilerin kaydının tutulup tutulmayacağı ve eğer kayıt tutulacaksa verilerin nereye kaydedileceğinin ayarlandığı bölümdür.



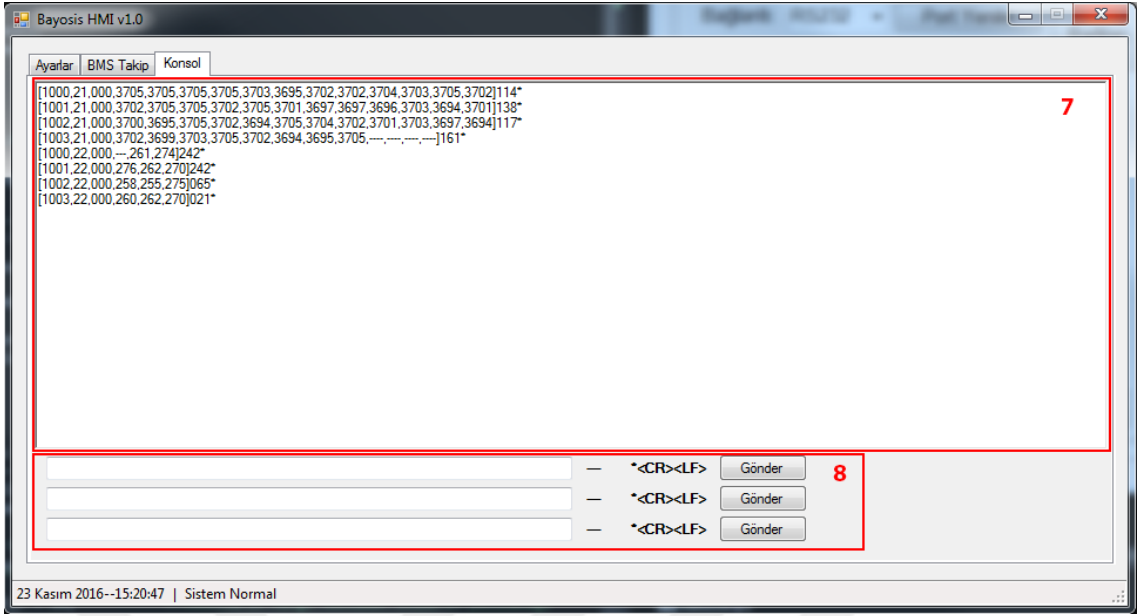
**Şekil 3.14:** Bilgisayar ara yüzü BMS takip sayfası.

Batarya izleme ayarları panelinin temel olarak iki işlevi vardır. Bunlar sırasıyla;

- Bölüm 5: Bu ekranda hücrelerin gerilim seviyeleri ve batarya paketinin sıcaklık değerleri takip edilir. Gelen gerilim ve sıcaklık bilgileri BMS'ler için ayrı ayrı gösterilir. Sıcaklık ve gerilim değerleri yukarıdan aşağıya sıralı şekildedir.
- Bölüm 6: Bu ekran batarya paketinin genel durumunu takip etmek için kullanılır. Sistem durumu, batarya doluluk oranı, gerilim, akım, güç ve minimum-maksimum hücre gerilimleri buradan takip edilebilir.

Konsol panelinin temel olarak iki işlevi vardır. Bunlar sırasıyla;

- Bölüm 7: Seri port bağlantısından gelen ve giden verileri takip etmek için kullanılır. Gelen ve giden verinin ham hali gösterilir.
- Bölüm 8: Bu bölüm seri porttan veri göndermek için kullanılır. Gönderilen paketin checksum'ı ve paket sonu byte'ları otomatik olarak paketin sonuna eklenir. 3 farklı veri göndermek için kullanılabilir.

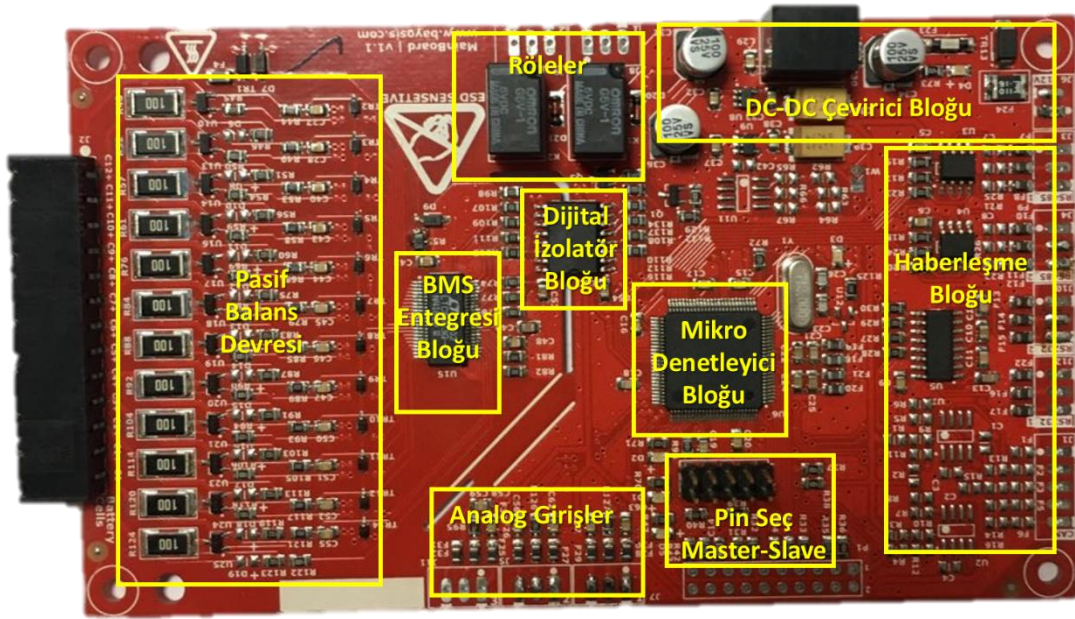


Şekil 3.15: Bilgisayar ara yüzü Konsol sayfası.



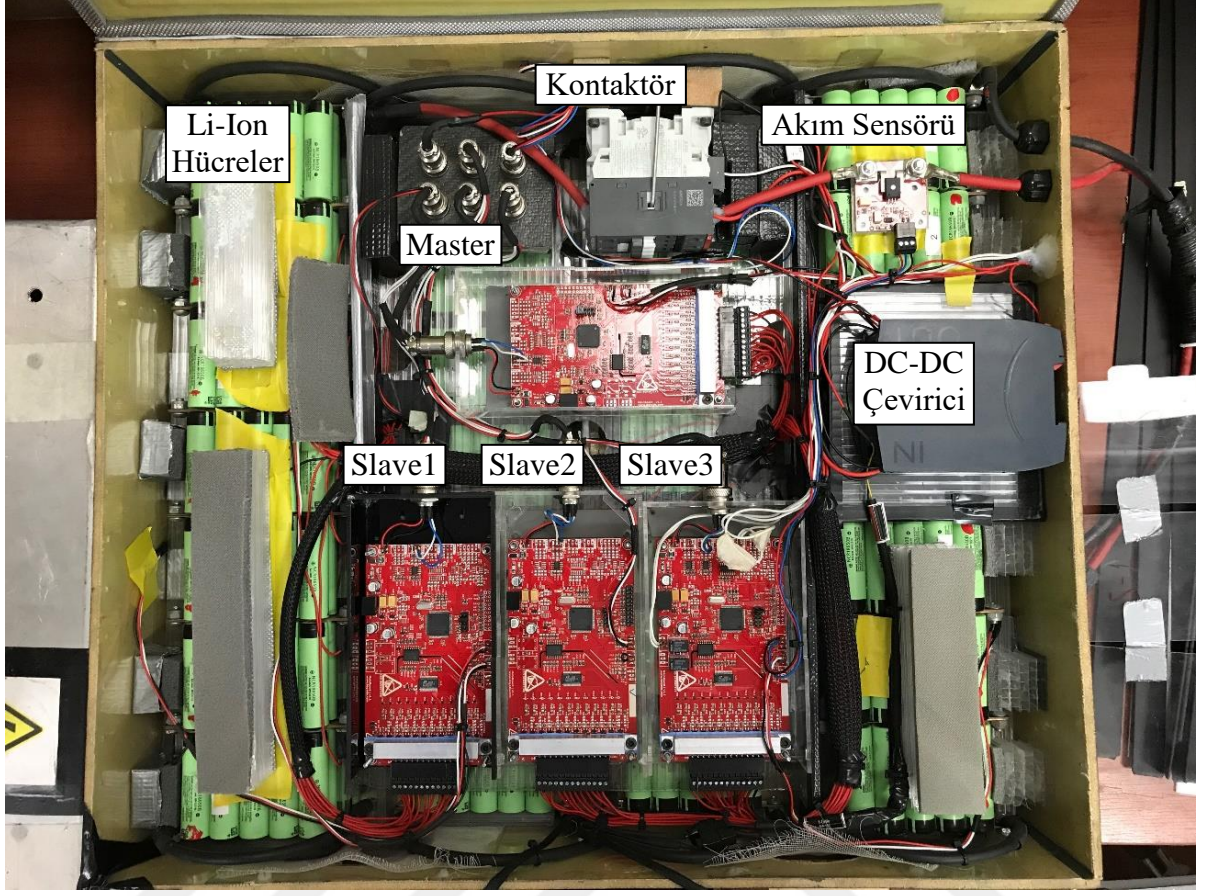
#### 4. BULGULAR

Tez kapsamında 1 adet master, 3 adet slave BMS modülü ve 1 adet akım sensörü üretilmiştir. Geliştirilen batarya yönetim sistemi ve alt bileşenlerinin test ve uygulaması için Şekil 4.2’de gösterilen, 10 Paralel-42 Seri bağlı Panasonic NCR18650B Li-Ion hücre, 1 adet kontaktör, 1 adet DC-DC çevirici den oluşan elektrikli araç bataryası kullanılmıştır.



Şekil 4.1: Tasarlanan Batarya Yönetim Sistemi.

Tasarlanan sisteminin ölçüm doğruluğunun test ve doğrulanması için kullanım kolaylığı ve çözünürlüğü göz önüne bulundurularak gerilim ölçümü için Fluke179 dijital multimetresi [20], akım ölçümü için Fluke325 dijital pens ampermetresi [28] kullanılmıştır. Katalog bilgilerine göre Fluke179 600V kademesinde ölçüm çözünürlüğü 0.1mV, ölçüm doğruluğu  $\pm(\%0.09+2)$  olarak belirtilmiştir[20]. Benzer şekilde Fluke325 40A kademesinde ölçüm çözünürlüğü 10mA, ölçüm doğruluğu  $\pm(\%2)$  olarak belirtilmiştir[28]. LTC6803-2 üzerinden yapılan hücre gerilim ölçümleri ve ACS759 üzerinden yapılan akım ölçümleri multimetre ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.



**Şekil 4.2:** Tasarlanan Batarya yönetim sistemi, akım ve sıcaklık sensörleri.

**Tablo 4.1:** Gerilim Ölçümü Karşılaştırması.

	Bilgisayar Arayüzü Ölçüm Değerleri	Fluke179 Ölçüm Değerleri	Fark
2.Hücre	4.087 V	4.091 V	0.004 V
5.Hücre	4.137 V	4.143 V	0.006 V
6. Hücre	4.162 V	4.163 V	0.001 V
14.Hücre	4.106 V	4.107 V	0.001 V
19.Hücre	4.143 V	4.148 V	0.005 V
22.Hücre	4.132 V	4.138 V	0.006 V
23.Hücre	4.128 V	4.131 V	0.003 V
24.Hücre	4.088 V	4.091 V	0.003 V
25.Hücre	4.115 V	4.120 V	0.005 V
27.Hücre	4.105 V	4.107 V	0.002 V
30.Hücre	4.110 V	4.113 V	0.003 V
32.Hücre	4.105 V	4.107 V	0.002 V

Çözünürlük ve ADC hesaplama hataları nedeniyle, tasarlanan batarya yönetim sistemi ile dijital multimetrenin ölçüm sonuçları arasında farklılıklar bulunmaktadır. Tablo 4.1’de batarya paketi içinden rastgele belirlenmiş olan 12 farklı hücrenin eş zamanlı bilgisayar arayüzü üzerinden ve manuel olarak yapılan ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Tablodan görüldüğü üzere BMS ve multimetre arasındaki maksimum ölçüm farkı 0.006V’tur.

**Tablo 4.2:** Gerilim Ölçümü Karşılaştırması.

	Bilgisayar Arayüzü Ölçüm Değerleri	Fluke179 Ölçüm Değerleri	Fark
00:00:00	4.168 V	4.170 V	0.002 V
00:10:00	4.042 V	4.047 V	0.005 V
00:20:00	3.925 V	3.926 V	0.001 V
00:30:00	3.831 V	3.836 V	0.005 V
00:40:00	3.742 V	3.749 V	0.007 V
00:50:00	3.673 V	3.681 V	0.008 V
01:00:00	3.608 V	3.615 V	0.007 V
01:10:00	3.575 V	3.581 V	0.006 V
01:20:00	3.564 V	3.572 V	0.008 V
01:30:00	3.559 V	3.567 V	0.008 V

Test sonuçlarının tekrarlanabilir olduğunun görülmesi açısından aynı test farklı zaman noktalarında farklı hücre gerilimlerinde tekrarlanmıştır. Bu kapsamda batarya paketi deşarj edilirken rastgele seçilmiş olan 16.hücrenin her 10dk da bir BMS’in bilgisayar arayüzü ve dijital multimetre aracılığıyla alınan gerilim bilgilerinin karşılaştırması Tablo 4.2’de belirtilmiştir. Bu tablodan da görüldüğü üzere BMS ve multimetre arasındaki maksimum ölçüm farkı 0.008V’tur.

**Tablo 4.3:** Akım Ölçümü Karşılaştırması.

Ölçüm No	Bilgisayar Arayüzü Ölçüm Değerleri	Fluke325 Ölçüm Değerleri	Fark
1	14.37 A	14.19 A	16 mA
2	14.30 A	14.07 A	23 mA
3	14.20 A	13.98 A	22 mA
4	14.10 A	13.95 A	15 mA
5	14.00 A	13.81 A	19 mA
6	13.90 A	13.69 A	21 mA
7	13.80 A	13.63 A	17 mA
8	13.70 A	13.58 A	22 mA
9	13.60 A	13.35 A	25 mA
10	13.50 A	13.31 A	19 mA

Tablo 4.3'te batarya paketi 12 Ohm-3.000W'lık bir direnç yük üzerine deşarj edilirken eş zamanlı bilgisayar arayüzü üzerinden ve manuel olarak pens ampermetre ile yapılan akım ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Tablodan görüldüğü üzere BMS ve pens ampermetre arasındaki maksimum ölçüm farkı 25mA'dir.

Yapılmış olan testlere göre BMS'nin hücre gerilim ölçüm sonucunun oldukça güvenilir olduğu kabul edilebilir. Multimetre ile kıyaslandığında gerilim ölçüm hatasının en fazla %0.23, akım ölçüm hatası da en fazla %0.19 olduğu görüşmüştür. Bu sonuçlara göre tasarlanan BMS, gerekli koruma fonksiyonları ve şarj durumu hesaplamaları için yeterli ölçüm hassasiyetine sahiptir.



## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez kapsamında lityum iyon bataryaların teknik özellikleri ve güvenli çalışma koşulları teorik olarak incelenmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda lityum tabanlı enerji depolama ünitelerinde kullanılmak üzere endüstriyel bir batarya yönetim sistemi tasarımı için gerekli olan malzeme ve yöntemler araştırılmış.

Modül topolojide tasarlanan batarya yönetim sistemi, LTC6803-2 entegre devresi aracılığıyla seri bağlanmış 12 hücrenin gerilim ölçümünü ve pasif olarak dengelenmesini yapmaktadır. Her modül sıcaklık veya akım sensörleri için ayarlanabilir 3 adet analog girişe, 2 adet izole röleli dijital çıkışa sahiptir. Bölüm 4 te testleri yapılan batarya paketinin sıcaklık ölçümü için LM35 sıcaklık sensörü, akım ölçümleri için de ACS769 akım sensörü kullanılmıştır. Yapılan tüm ölçümler ve kontroller modül üzerinde bulunan ArmCortexM3 mimariye sahip bir mikro denetleyici aracılığıyla RS232 veya RS485 portlarını kullanarak dış dünya ile paylaşılmıştır.

Her modül, üzerinde bulunan adresleme pinleri aracılığıyla, master yada slave olarak ayarlanabilme özelliğine sahiptir. Böylece seri hücre sayısının 12 den daha fazla olduğu batarya paketler için birden fazla modülün birlikte çalışabilmesi sağlanmıştır. Modüller kendi aralarında RS485 portu üzerinden master-slave yapısıyla haberleşmektedir.

Tez kapsamında, batarya paketinin güvenli çalışma koşullarını belirlemek, bataryanın izlenmesi ve verilerin kayıt altına alınmasını sağlamak için bir kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır. Bu arayüz üzerinden bataryanın yüksek gerilim, düşük gerilim, yüksek sıcaklık, yüksek şarj akımı ve yüksek deşarj akımı durumlarına karşı sistemin koruma parametrelerinin ayarlanabilmektedir.

Tez çalışması sırasında yapılan testler sonucunda akım, gerilim ve sıcaklık ölçümlerinin sistem ihtiyaçlarını karşılayacak doğrulukta olduğu görülmüştür. Ancak dengeleme direncinin  $20\Omega$  olması yani maksimum dengeleme akımının  $210\text{mA}$  olması, paralel hücre sayısının fazla olduğu uygulamalarda, batarya hücrelerinin eşitlenme süresinin uzun zaman almasına neden olmuştur. Bu sebeple aslında paralel hücre sayısının fazla olduğu uygulamalar için dengeleme akımının yetersiz olduğunu anlaşılmıştır. Bu problemin çözümüne yönelik olarak batarya dengeleme bloğunun harici bir modül olduğu yeni bir tasarım yapılabilir.

Özellikle seri hücre sayısının fazla olduğu batarya paketlerinde her slave modülün kendine ait mikrodenetleyiciye, haberleşme entegrelerine, izolasyon elemanlarına, DC-DC çeviricilere

sahip olması sistem maliyetini oldukça arttırmıştır. Bu sebeple tasarlanan sistemin seri hücre sayısının fazla olduğu uygulamalar için ekonomik olmadığı fiyat rekabetinde rakiplerinden geri kaldığı görülmüştür. Aslında LTC6803-2 entegresinin harici bir mikrodenetleyiciye ihtiyaç duymadan diğer LTC6803-2 entegreleriyle Daisy Chain bir yapıyla doğrudan iletişim kurmasını sağlayan bir alt yapısı vardır. Bu sebeple sistem maliyetlerini azaltmak için gelecekte tasarım güncellenebilir.

Batarya paketinin şarj durumu kestirimi için gerilim tablosu metodu kullanılmıştır. Bu yöntem şarj, deşarj ve bekleme durumlarında batarya geriliminin değişmesinden oldukça etkilenmektedir. Örneğin açık devre geriliminin 3.74V olduğu bir hücre 1C ile şarj edildiğinde gerilim değeri 3,83 değerlerine çıka bilmektedir. Aynı test hücre 1C ile deşarj edildiğinde ise anlık olarak 3.65V değerlerine düşebilmektedir. Bu şartlar altında hücre kapasitenin kestirilmesi oldukça zordur. Özellikle hücre sağlık durumunun hesaplanmak istendiği durumlarda SOC ölçümünün doğruluğu oldukça önemlidir. Bu sebeple gelecek çalışmalarda Coulomb sayım metodu ve kalman filtreleri kullanarak daha yüksek doğrulukta SOC kestiriminin yapılması planlanmaktadır.

Tasarlanan batarya yönetim sistemi batarya paketinin izleme, kontrol ve yönetim fonksiyonlarını sağlamak için bir kullanıcı ara yüzüne sahiptir. Bu ara yüz üzerinden bilgisayara gelen veriler kayıt altına alınabilmektedir. Ancak bir bilgisayar bağlantısının olmadığı durumlarda sistem verilerinin yedeklenmesi ve kayıt altında tutulması özellikle off-grid uygulamalarda kullanılan enerji depolama üniteleri için bir ihtiyaç olabilir. Bu ihtiyaca yönelik olarak gelecek çalışmalarda tasarıma datalogger alt yapısının eklenmesi oldukça faydalı olacaktır. Özellikle datalogger uygulamalarında zaman ölçümünün düzgün bir şekilde yapılabilmesini sağlamak için harici RTC modülü kullanılabilir.

Tasarlanan batarya yönetim sisteminin dış dünya ile iletişimi için sadece RS232 ve RS485 portları vardır. Aslında günümüz batarya şarj cihazları, göz önünde bulundurulduğunda CAN alt yapısı endüstriyel bir standart olarak karşımıza çıkmaktadır. Mevcut sistemin CAN haberleşme alt yapısının olmaması birçok cihaz ile iletişim kurmada zorlukların yaşanacağı anlamına gelmektedir. Gelecek çalışmalarda özellikle hızlı şarj uygulamaları için artık vaz geçilmez olan CAN protokolüyle iletişim kuran bir batarya yönetim sisteminin tasarlanması planlanmaktadır.



Tez çalışması kapsamında üretilen batarya yönetim sistemi TÜBİTAK tarafından düzenlenen alternatif enerjili araç yarışlarına katılan 21 üniversitenin elektrikli araçlarının batarya paketlerinde kullanılmıştır. Saha testleri sonucu yazılım iyileştirmeleri yapılmış olan BMS, tez projesi hedefi olan endüstriyel uygulamalar için bir çözüm olarak kullanıcılara sunulmuştur.

Gelecek çalışmalar kapsamında özellikle insansız hava taşıtları ve robotik uygulamaların batarya paketlerinde SOC ve SOH hesaplamalarının yüksek doğrulukta yapıldığı, batarya kullanım istatistiklerinin yedeklendiği ve aktif dengeleme metoduyla batarya hücrelerinin dengelendiği yeni bir BMS tasarlanması planlanmaktadır.



## KAYNAKLAR

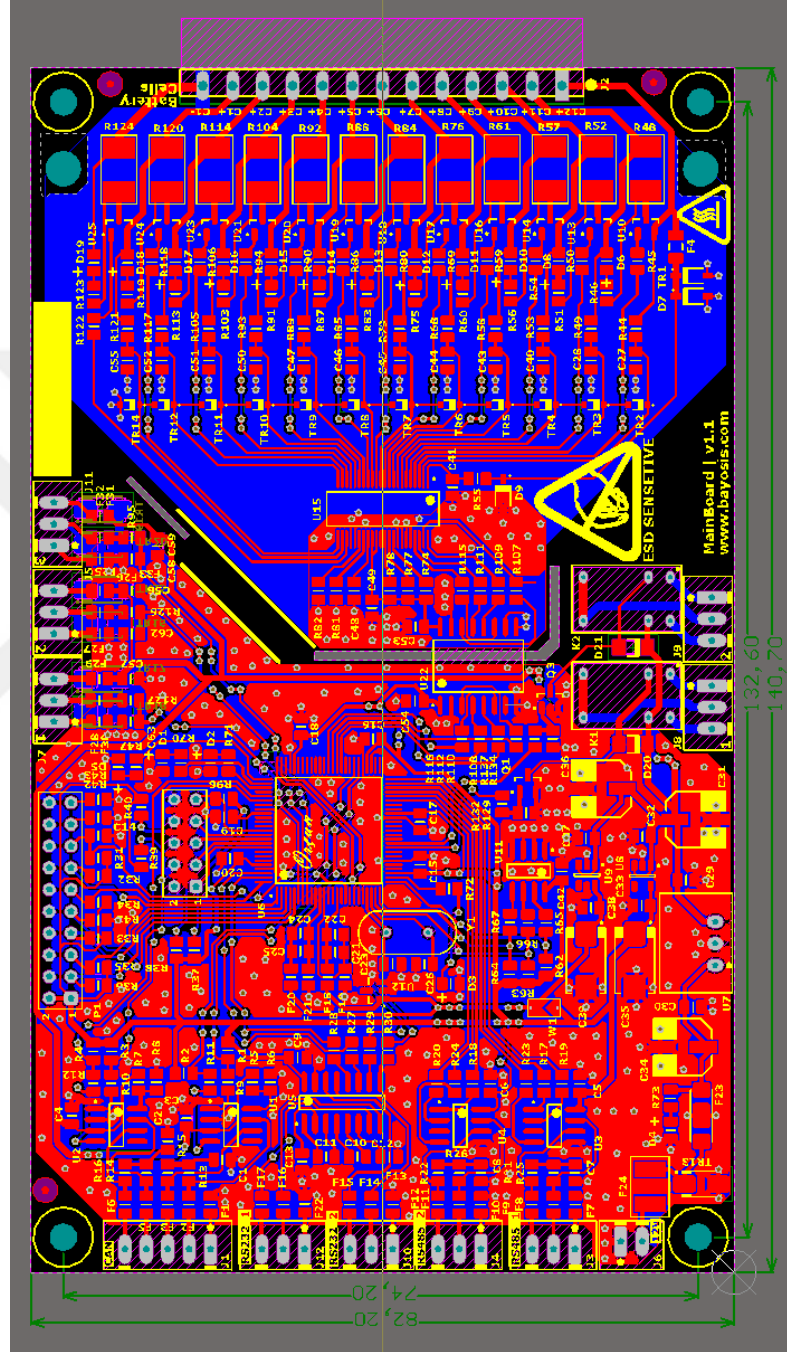
- [1]. D. ANDREA, 2010, *Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs*, Artech House, London
- [2]. H. Qian, J. Zhang, J.-S. Lai, and W. Yu, 2011, *High-efficiency grid-tie battery energy storage system*, Mar, IEEE Trans. Power Electron, vol. 26, no. 3, pp. 886–896.
- [3]. L. Maharjan, T. Yamagishi, H. Akagi, and J. Asakura, 2010, *Fault-tolerant operation of a battery-energy-storage system based on a multilevel cascade PWM converter with star configuration*, Sep., IEEE Trans. Power Electron., vol. 25, no. 9, pp. 2386–2396
- [4]. M. Zheng, B. Qi, H. Wu, 2008, *A Li-ion Battery Management System Based on CAN-bus for Electric Vehicle*, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, China, 978-1-4244-1718-6.
- [5]. M. Conte, F. Vellucci, M. Pasquali, 2011, *Design Procedures of Lithium-ion Battery Systems: the Application to a Cable Railway*, Energy and Sustainable Economic, Italy, 978-1-4244-8930-5
- [6]. S. Qaisar, M. Dallet, D. Desprez, D. Phillipe, S. Benjamin, 2010, *An Evaluation Methodology for the Li-Ion Battery Multiplexed Voltage Measurement Systems*, France, 978-1-4244-2833-5
- [7]. A. Shi-qi, Q. An-ning, Z. Yu-wei, 2011, *Design and Realization of SPI Interface in Lithium-ion Battery Voltage Measuring System*, Qingdao, China, 978-1-4244-9718-8
- [8]. F. Baronti, G. Fantechi, R. Roncella, R. Saletti, 2013, *High-Efficiency Digitally Controlled Charge Equalizer for Series-Connected Cells Based on Switching Converter and Super-Capacitor*, IEEE Transactions on Industrial Informatics Vol.9 No.2, 1139 – 1147, 1551-3203
- [9]. H. Miyamota, M., Morimoto, K. Morita, 2007, *On-line SOC Estimation of Battery for Wireless Tram Car*, Tokai University Department of Electrical and Electronics Engineering, Japan, 978-1-4244-0645-5
- [10]. D.Lindea, T.B.Reddy, 2002, *Handbook of Batteries*, NewYork: Mc-Graw-Hill, , ch. 35.
- [11]. Charging Lithium-Ion Batteries [Ziyaret Tarihi: 3/10/2016]  
[http://batteryuniversity.com/learn/article/charging\\_lithium\\_ion\\_batteries](http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries)
- [12]. Health Concerns with Batteries] [Ziyaret Tarihi: 22/8/2016]  
[http://batteryuniversity.com/learn/article/health\\_concerns](http://batteryuniversity.com/learn/article/health_concerns)
- [13]. Types of Lithium-ion, Battery university [Ziyaret Tarihi: 17/09/2016]  
[http://batteryuniversity.com/learn/article/types\\_of\\_lithium\\_ion](http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion)



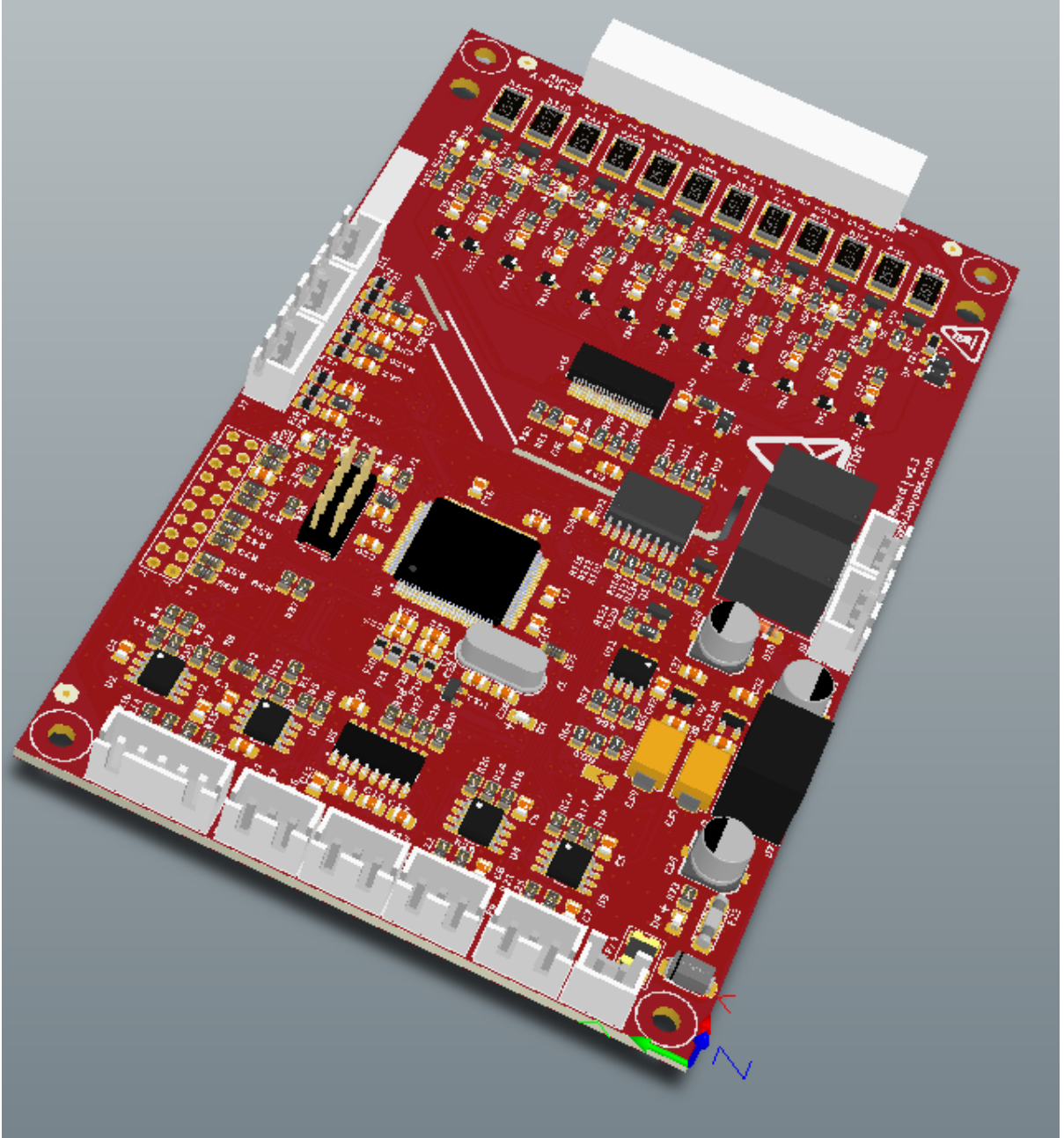
- [14]. S.Dearborn, 2005, *Charging Li-ion batteries for Maximum run times*, April, Power Electron.Technol. Mag. pp40-49.
- [15]. Lithium based batteries, Battery University [Ziyaret Tarihi: 05/06/2016]  
[http://batteryuniversity.com/learn/article/lithium\\_based\\_batteries](http://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries)
- [16]. Elithion Systems [Ziyaret Tarih: 27/12/2015]  
<http://liionbms.com/php/index.php>
- [17]. Panasonic NCR18650B [Ziyaret Tarih: 11/03/2016]  
<https://na.industrial.panasonic.com/sites/default/files/ncr18650b.pdf>
- [18]. Linear Technology LTC 6803-2/LTC6803-4 [Ziyaret Tarihi: 21/1/2016]  
<http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/680324fa.pdf>
- [19]. L. Kultgen, 2009, *Managing high-voltage lithium-ion batteries in HEVs*, EDN, 4 Sep, pp. 45-52.
- [20]. Fluke179 Digital Multimeter [Ziyaret Tarihi:15/03/2016]  
[http://media.fluke.com/documents/175\\_\\_\\_\\_\\_umeng0200.pdf](http://media.fluke.com/documents/175_____umeng0200.pdf)
- [21]. LPC1768 Arm Cortex-M3 Microcontroller [Ziyaret Tarihi:15/03/2016]  
[http://www.nxp.com/documents/data\\_sheet/LPC1769\\_68\\_67\\_66\\_65\\_64\\_63.pdf](http://www.nxp.com/documents/data_sheet/LPC1769_68_67_66_65_64_63.pdf)
- [22]. B. Pattipati, 2011, *System Identification and Estimation Framework for Pivotal Automotive Battery Management System Characteristics*. November, IEEE Transactions On Systems, Man, and Cybernetics—Part C: Applications And Reviews, Vol. 41, no. 6,.
- [23]. W. Haiying,, 2011, *Study on Correlation with SOH and EIS Model of Li-ion Battery*, The 6th International Forum on Strategic Technology.
- [24]. STMicroelectronics, 2013, ST4485EB RS-485 Drivers and Transceiver, www.st.com, USA
- [25]. STMicroelectronics, 2010, ST3232EBDR RS-232 Drivers and Transceiver, www.st.com, USA
- [26]. Recom Power, 2016, R-78xx-0.5 Series, www.recom-power.com, USA
- [27]. S.Evren Şeker, Power, [Ziyaret Tarihi: 15/8/2016]  
<http://bilgisayarkavramlari.sadievrenseker.com/2007/11/26/ortanca-filtresi-median-filter/>
- [28]. Fluke325 Digital PensAmpermetre [Ziyaret Tarihi: 22/08/2016]  
[http://assets.fluke.com/manuals/32x\\_\\_\\_\\_\\_umtur0100.pdf](http://assets.fluke.com/manuals/32x_____umtur0100.pdf)
- [29]. T. Baykal, 2013, *Lityum Polimer Bataryalar İçin Batarya Yönetim Sistemi Geliştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

## EKLER

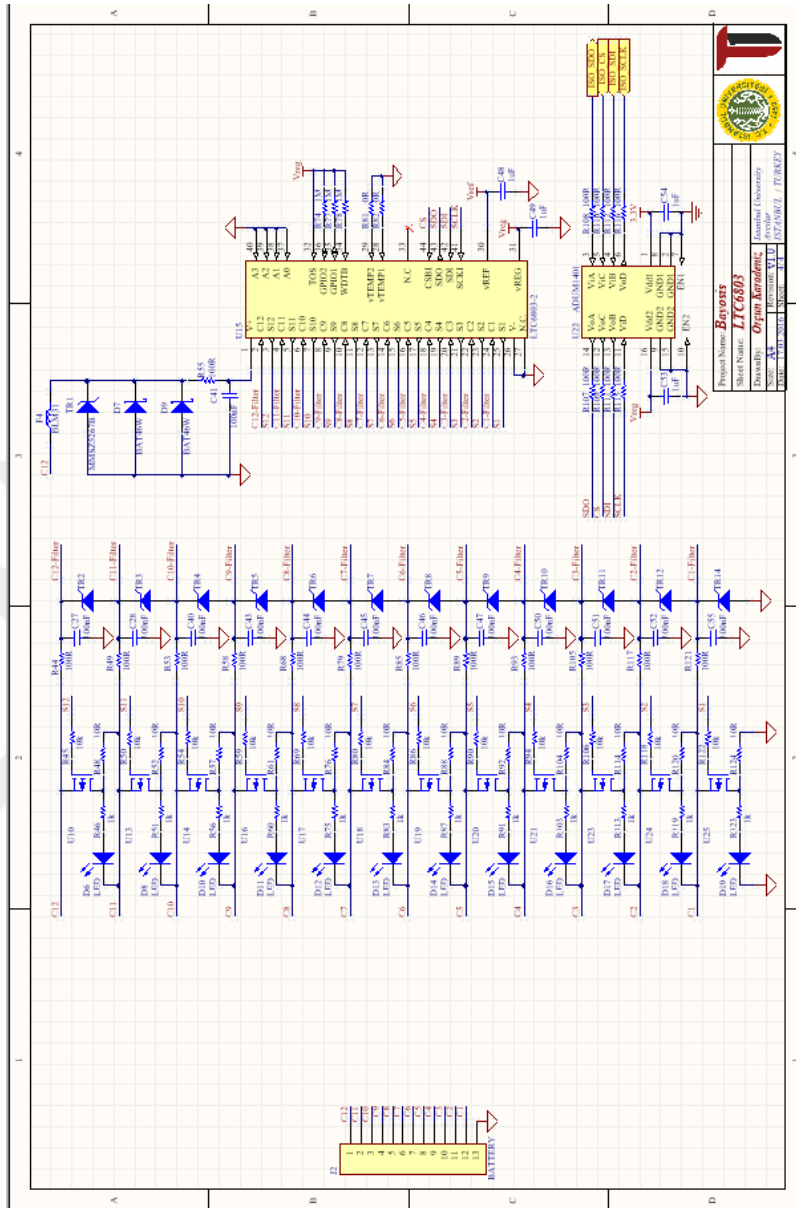
## EK 1. Baskı Devre İki Boyutlu Çizimi (Altium Designer).



**EK 2.** Baskı Devre üç boyutlu çizimi (Altium Designer).



EK 3. LTC6803 Şematik Tasarım(Altium Designer.



Project Name: **Bayoys**  
Sheet Name: **LTC6803**  
University: **Ordu University**  
Faculty: **Engineering Faculty**  
Department: **Electronics Engineering**  
Student Name: **...**  
Student ID: **...**



## EK 5. LPC1768 Kataloĝu.



## LPC1769/68/67/66/65/64/63

32-bit ARM Cortex-M3 microcontroller; up to 512 kB flash and 64 kB SRAM with Ethernet, USB 2.0 Host/Device/OTG, CAN

Rev. 9.6 — 18 August 2015

Product data sheet

### 1. General description

The LPC1769/68/67/66/65/64/63 are ARM Cortex-M3 based microcontrollers for embedded applications featuring a high level of integration and low power consumption. The ARM Cortex-M3 is a next generation core that offers system enhancements such as enhanced debug features and a higher level of support block integration.

The LPC1768/67/66/65/64/63 operate at CPU frequencies of up to 100 MHz. The LPC1769 operates at CPU frequencies of up to 120 MHz. The ARM Cortex-M3 CPU incorporates a 3-stage pipeline and uses a Harvard architecture with separate local instruction and data buses as well as a third bus for peripherals. The ARM Cortex-M3 CPU also includes an internal prefetch unit that supports speculative branching.

The peripheral complement of the LPC1769/68/67/66/65/64/63 includes up to 512 kB of flash memory, up to 64 kB of data memory, Ethernet MAC, USB Device/Host/OTG interface, 8-channel general purpose DMA controller, 4 UARTs, 2 CAN channels, 2 SSP controllers, SPI interface, 3 I<sup>2</sup>C-bus interfaces, 2-input plus 2-output I<sup>2</sup>S-bus interface, 8-channel 12-bit ADC, 10-bit DAC, motor control PWM, Quadrature Encoder interface, four general purpose timers, 6-output general purpose PWM, ultra-low power Real-Time Clock (RTC) with separate battery supply, and up to 70 general purpose I/O pins.

The LPC1769/68/67/66/65/64/63 are pin-compatible to the 100-pin LPC236x ARM7-based microcontroller series.

For additional documentation, see [Section 19 "References"](#).

### 2. Features and benefits

- ARM Cortex-M3 processor, running at frequencies of up to 100 MHz (LPC1768/67/66/65/64/63) or of up to 120 MHz (LPC1769). A Memory Protection Unit (MPU) supporting eight regions is included.
- ARM Cortex-M3 built-in Nested Vectored Interrupt Controller (NVIC).
- Up to 512 kB on-chip flash programming memory. Enhanced flash memory accelerator enables high-speed 120 MHz operation with zero wait states.
- In-System Programming (ISP) and In-Application Programming (IAP) via on-chip bootloader software.
- On-chip SRAM includes:
  - ◆ 32/16 kB of SRAM on the CPU with local code/data bus for high-performance CPU access.





## EK 6. LTC6803-2 Kataloĝu.



## LTC6803-1/LTC6803-3 Multicell Battery Stack Monitor

### FEATURES

- Measures Up to 12 Battery Cells in Series
- Stackable Architecture
- Supports Multiple Battery Chemistries and Supercapacitors
- Serial Interface Daisy Chains to Adjacent Devices
- 0.25% Maximum Total Measurement Error
- Engineered for ISO26262 Compliant Systems
- 13ms to Measure All Cells in a System
- Passive Cell Balancing:
  - Integrated Cell Balancing MOSFETs
  - Ability to Drive External Balancing MOSFETs
- Onboard Temperature Sensor and Thermistor Inputs
- 1MHz Serial Interface with Packet Error Checking
- Safe with Random Connection of Cells
- Built-In Self Tests
- Delta-Sigma Converter With Built-In Noise Filter
- Open-Wire Connection Fault Detection
- 12 $\mu$ A Standby Mode Supply Current
- High EMI Immunity
- 44-Lead SSOP Package

### APPLICATIONS

- Electric and Hybrid Electric Vehicles
- High Power Portable Equipment
- Backup Battery Systems
- Electric Bicycles, Motorcycles, Scooters

### DESCRIPTION

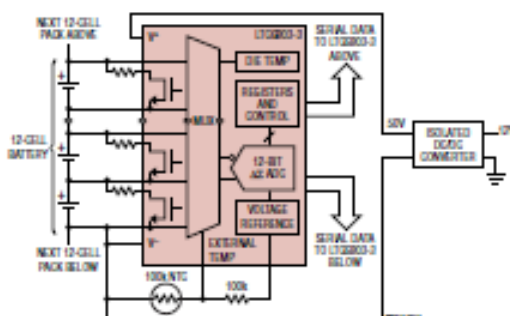
The LTC<sup>®</sup>6803 is a 2nd generation, complete battery monitoring IC that includes a 12-bit ADC, a precision voltage reference, a high voltage input multiplexer and a serial interface. Each LTC6803 can measure up to 12 series-connected battery cells or supercapacitors. Using a unique level shifting serial interface, multiple LTC6803-1/ LTC6803-3 devices can be connected in series, without opto-couplers or isolators, allowing for monitoring of every cell in a long string of series-connected batteries. Each cell input has an associated MOSFET switch for discharging overcharged cells. The LTC6803-1 connects the bottom of the stack to  $V^-$  internally. It is pin compatible with the LTC6802-1, providing a drop-in upgrade. The LTC6803-3 separates the bottom of the stack from  $V^-$ , improving cell 1 measurement accuracy.

The LTC6803 provides a standby mode to reduce supply current to 12 $\mu$ A. Furthermore, the LTC6803 can be powered from an isolated supply, providing a technique to reduce battery stack current draw to zero.

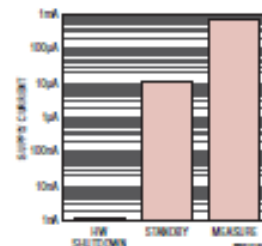
For applications requiring individually addressable serial communications, see the LTC6803-2/LTC6803-4.

L<sup>TM</sup>, LT, LTC, LTM, Linear Technology and the Linear logo are registered trademarks of Linear Technology Corporation. All other trademarks are the property of their respective owners.

### TYPICAL APPLICATION



Supply Current vs Modes of Operation



68031-2a



EK 7. ACS759 Kataloĝu.



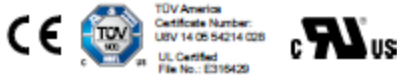
ACS759xCB

*Thermally Enhanced, Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC With 100  $\mu\Omega$  Current Conductor and Optimized Performance at 3.3 V*

FEATURES AND BENEFITS

- Industry-leading noise performance through proprietary amplifier and filter design techniques
- Integrated shield greatly reduces capacitive coupling from current conductor to die due to high  $dV/dt$  signals, and prevents offset drift in high-side, high voltage applications
- Total output error improvement through gain and offset trim over temperature
- Small package size, with easy mounting capability
- Monolithic Hall IC for high reliability
- Ultra-low power loss: 100  $\mu\Omega$  internal conductor resistance
- Galvanic isolation allows use in economical, high-side current sensing in high voltage systems

*Continued on the next page...*



PACKAGE: 5-PIN CB PACKAGE



Additional leadforms available for qualifying volumes

DESCRIPTION

The Allegro™ ACS759 family of current sensor ICs provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing. Typical applications include motor control, load detection and management, power supply and DC-to-DC converter control, inverter control, and overcurrent fault detection.

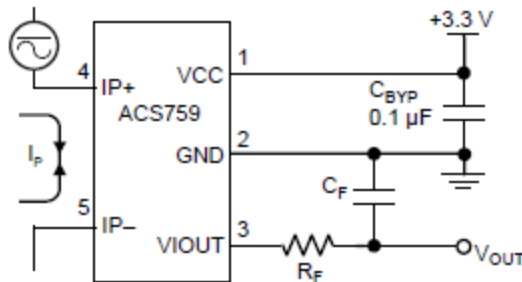
The device consists of a precision, low-offset linear Hall circuit with a copper conduction path located near the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which the Hall IC converts into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional output voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy at the factory.

High level immunity to current conductor  $dV/dt$  and stray electric fields, offered by Allegro proprietary integrated shield technology, for low output voltage ripple and low offset drift in high-side, high voltage applications.

The output of the device has a positive slope ( $>V_{CC}/2$ ) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from terminal 4 to terminal 5), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is 100  $\mu\Omega$  typical, providing low power loss.

The thickness of the copper conductor allows survival of the device at high overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the signal leads

*Continued on the next page...*



Application 1: The ACS759 outputs an analog signal,  $V_{OUT}$ , that varies linearly with the bidirectional AC or DC primary current,  $I_p$ , within the range specified.  $C_F$  is for optimal noise management, with values that depend on the application.

Typical Application



## EK 8. LM35 Kataloĝu.



November 2000

## LM35

## Precision Centigrade Temperature Sensors

## General Description

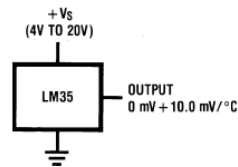
The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of  $\pm 1/4^\circ\text{C}$  at room temperature and  $\pm 3/4^\circ\text{C}$  over a full  $-55$  to  $+150^\circ\text{C}$  temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only  $60\ \mu\text{A}$  from its supply, it has very low self-heating, less than  $0.1^\circ\text{C}$  in still air. The LM35 is rated to operate over a  $-55^\circ$  to  $+150^\circ\text{C}$  temperature range, while the LM35C is rated for a  $-40^\circ$  to  $+110^\circ\text{C}$  range ( $-10^\circ$  with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

## Features

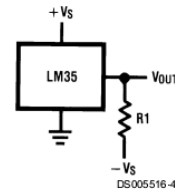
- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear  $+10.0\ \text{mV}/^\circ\text{C}$  scale factor
- $0.5^\circ\text{C}$  accuracy guaranteeable (at  $+25^\circ\text{C}$ )
- Rated for full  $-55^\circ$  to  $+150^\circ\text{C}$  range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than  $60\ \mu\text{A}$  current drain
- Low self-heating,  $0.08^\circ\text{C}$  in still air
- Nonlinearity only  $\pm 1/4^\circ\text{C}$  typical
- Low impedance output,  $0.1\ \Omega$  for 1 mA load

## Typical Applications



DS005516-3

FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor  
( $+2^\circ\text{C}$  to  $+150^\circ\text{C}$ )



DS005516-4

Choose  $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$   
 $V_{\text{OUT}} = +1,500\ \text{mV}$  at  $+150^\circ\text{C}$   
 $= +250\ \text{mV}$  at  $+25^\circ\text{C}$   
 $= -550\ \text{mV}$  at  $-55^\circ\text{C}$

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

**EK 9.** Recom R78-0.5 DC-DC Converter.

**Features**

- Efficiency up to 97%, Non isolated, no need for heatsinks
- Pin-out compatible with LM78XX Linear
- Very low profile( L\*W\*H=11.5\*7.5\*10.2 )
- Wide input range.(4.75V ~ 32V)
- Short circuit protection, Thermal shutdown
- Non standard outputs available as specials
- Low ripple and noise
- UL94V-0 package material
- EMC, Safety Certified
- See Ininline Application Notes for use as an inverter (alternative to LM79xx Linear)

**Description**

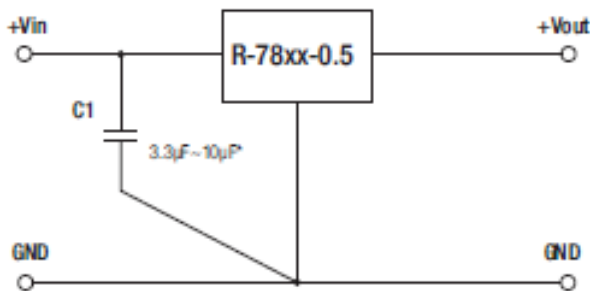
The R-78xx-Series high efficiency switching regulators are ideally suited to replace 78xx linear regulators and are pin compatible. The efficiency of up to 97% means that very little energy is wasted as heat so there is no need for any heat sinks with their additional space and mounting costs. Low ripple and noise figures and short circuit, overload and over-temperature protection round off the specifications of this versatile converter series. This R-78xx-0.5 is fully certified to EN 55022 (Emissions), and EN55024 (Immunity) EMC Standards and for IEC/EN-60950-1 + A2 Safety.

**Selection Guide**

Part Number	Input Range (V)	Output Voltage (V)	Output Current (A)	Efficiency (%)	
				Min. Vin	Max. Vin
R-781.5-0.5	4.75 – 30 <sup>(1)</sup>	1.5	0.5	73	63
R-781.8-0.5	4.75 – 32	1.8	0.5	82	71
R-782.5-0.5	4.75 – 32	2.5	0.5	87	77
R-783.3-0.5	4.75 <sup>(2)</sup> – 32	3.3	0.5	91	81
R-785.0-0.5	6.5 – 32	5.0	0.5	94	86
R-786.5-0.5	8.0 – 32	6.5	0.5	95	88
R-789.0-0.5	11 – 32	9.0	0.5	96	92
R-7812-0.5	15 – 32	12	0.5	97	94
R-7815-0.5	18 – 32	15	0.5	97	95

Note 1: 1.5V Output can be unstable with Vin>30VDC  
 Note 2: Refer to Dynamic Load Stability

**Standard Application Circuit**



\* Input capacitor required if Vin>28VDC (3.3µF) or if the supply is a battery or other low impedance source (4.7µF~10µF)  
 Capacitor should be electrolytic or MLCC with 1R resistor in series

**INNOLINE**  
DC/DC-Converter

with 3 year Warranty



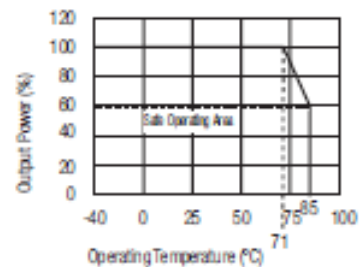
**0.5 AMP**  
**SIP3**  
**Single Output**



**EN-55022 Certified**  
**EN-55024 Certified**  
**IEC/EN-60950-1 Certified**

**R-78-0.5**

**Derating-Graph**  
(Ambient Temperature)



## EK 10. MIC5205 LDO.



## MIC5205

150mA Low-Noise LDO Regulator

## General Description

The MIC5205 is an efficient linear voltage regulator with ultra low-noise output, very low dropout voltage (typically 17mV at light loads and 165mV at 150mA), and very low ground current (800nA at 100mA output). The MIC5205 offers better than 1% initial accuracy.

Designed especially for hand-held, battery-powered devices, the MIC5205 includes a CMOS or TTL compatible enable/shutdown control input. When shut down, power consumption drops nearly to zero. Regulator ground current increases only slightly in dropout, further prolonging battery life.

Key MIC5205 features include a reference bypass pin to improve its already excellent low-noise performance, reversed-battery protection, current limiting, and overtemperature shutdown.

The MIC5205 is available in fixed and adjustable output voltage versions in a small SOT-23-5 package.

For low-dropout regulators that are stable with ceramic output capacitors, see the  $\mu$ Cap MIC5245/6/7 family.

Data sheets and support documentation can be found on Micrel's web site at [www.micrel.com](http://www.micrel.com).

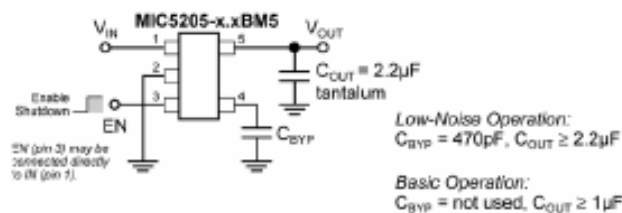
## Features

- Ultra-low-noise output
- High output voltage accuracy
- Guaranteed 150mA output
- Low quiescent current
- Low dropout voltage
- Extremely tight load and line regulation
- Very low temperature coefficient
- Current and thermal limiting
- Reverse-battery protection
- "Zero" off-mode current
- Logic-controlled electronic enable

## Applications

- Cellular telephones
- Laptop, notebook, and palmtop computers
- Battery-powered equipment
- PCMCIA Vcc and Vpp regulation/switching
- Consumer/personal electronics
- SMPS post-regulator/dc-to-dc modules
- High-efficiency linear power supplies

## Typical Application



Ultra-Low-Noise Regulator Application

Xxxxx is a trademark of Micrel, Inc.  
 Xxxxx is a registered trademark of Micrel, Inc.

Micrel Inc. • 2180 Fortune Drive • San Jose, CA 95131 • USA • tel +1 (408) 944-0800 • fax +1 (408) 474-1000 • <http://www.micrel.com>

February 2006

M9999-020806  
 (408) 955-1690

## EK 11. 24C16 EEPROM.

---

**Features**

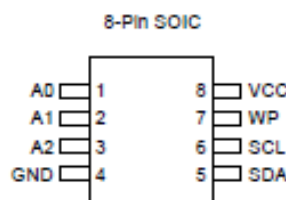
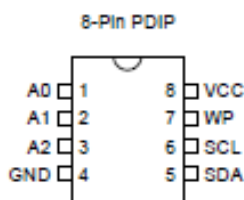
- Low Voltage and Standard Voltage Operation
  - 5.0 ( $V_{CC} = 4.5V$  to  $5.5V$ )
  - 2.7 ( $V_{CC} = 2.7V$  to  $5.5V$ )
  - 2.5 ( $V_{CC} = 2.5V$  to  $5.5V$ )
  - 1.8 ( $V_{CC} = 1.8V$  to  $5.5V$ )
- Internally Organized 2048 x 8 (16K)
- 2-Wire Serial Interface
- Schmitt Trigger, Filtered Inputs for Noise Suppression
- Bidirectional Data Transfer Protocol
- 100 KHz (1.8V, 2.5V, 2.7V) and 400 KHz (5V) Compatibility
- Write Protect Pin for Hardware Data Protection
- Cascadable Feature Allows for Extended Densities
- 16-Byte Page Write Mode
- Partial Page Writes Are Allowed
- Self-Timed Write Cycle (10 ms max)
- High Reliability
  - Endurance: 1 Million Write Cycles
  - Data Retention: 100 Years
  - ESD Protection: >3,000V
- Automotive Grade and Extended Temperature Devices Available
- 8-Pin JEDEC SOIC and 8-Pin PDIP Packages

**Description**

The AT24C164 provides 16,384 bits of serial electrically erasable and programmable read only memory (EEPROM) organized as 2048 words of 8 bits each. The device's cascadable feature allows up to eight devices to share a common 2-wire bus. The device is optimized for use in many industrial and commercial applications where low power and low voltage operation are essential. The AT24C164 is available in space saving 8-pin PDIP and 8-pin SOIC packages and is accessed via a 2-wire serial interface. In addition, this device is available in 5.0V (4.5V to 5.5V), 2.7V (2.7V to 5.5V), 2.5V (2.5V to 5.5V) and 1.8V (1.8V to 5.5V) versions.

**Pin Configurations**

Pin Name	Function
A0 to A2	Address Inputs
SDA	Serial Data
SCL	Serial Clock Input
WP	Write Protect




---

**2-Wire Serial  
EEPROM**

16K (2048 x 8)

---

**AT24C164**

Rev. 0105D-07/98



## EK 12. Analog Devices ADuM1401 Kataloğu.



## Quad-Channel Digital Isolators

Data Sheet

## ADuM1400/ADuM1401/ADuM1402

## FEATURES

Qualified for automotive applications

Low power operation

## 5 V operation

1.0 mA per channel maximum at 0 Mbps to 2 Mbps

3.5 mA per channel maximum at 10 Mbps

31 mA per channel maximum at 90 Mbps

## 3 V operation

0.7 mA per channel maximum at 0 Mbps to 2 Mbps

2.1 mA per channel maximum at 10 Mbps

20 mA per channel maximum at 90 Mbps

Bidirectional communication

3 V/5 V level translation

High temperature operation: 125°C

High data rate: dc to 90 Mbps (NRZ)

Precise timing characteristics

2 ns maximum pulse width distortion

2 ns maximum channel-to-channel matching

High common-mode transient immunity: &gt;25 kV/μs

Output enable function

16-lead SOIC wide body package

RoHS-compliant models available

Safety and regulatory approvals

UL recognition: 2500 V rms for 1 minute per UL 1577

CSA Component Acceptance Notice 5A

VDE Certificate of Conformity

DIN V VDE V 0884-10 (VDE V 0884-10):2006-12

V<sub>ocess</sub> = 560 V peak

TÜV approval: IEC/EN/UL/CSA 61010-1

## APPLICATIONS

General-purpose multichannel isolation

SPI interface/data converter isolation

RS-232/RS-422/RS-485 transceivers

Industrial field bus isolation

Automotive systems

## GENERAL DESCRIPTION

The ADuM1400/ADuM1401/ADuM1402<sup>1</sup> are quad-channel digital isolators based on Analog Devices, Inc., iCoupler<sup>®</sup> technology. Combining high speed CMOS and monolithic air core transformer technology, these isolation components provide outstanding performance characteristics superior to alternatives, such as optocoupler devices.

By avoiding the use of LEDs and photodiodes, iCoupler devices remove the design difficulties commonly associated with optocouplers. The typical optocoupler concerns regarding uncertain current transfer ratios, nonlinear transfer functions, and temperature and lifetime effects are eliminated with the simple iCoupler digital interfaces and stable performance characteristics.

The need for external drivers and other discrete components is eliminated with these iCoupler products. Furthermore, iCoupler devices consume one tenth to one sixth of the power of optocouplers at comparable signal data rates.

The ADuM1400/ADuM1401/ADuM1402 isolators provide four independent isolation channels in a variety of channel configurations and data rates (see the Ordering Guide). All models operate with the supply voltage on either side ranging from 2.7 V to 5.5 V, providing compatibility with lower voltage systems as well as enabling a voltage translation functionality across the isolation barrier. In addition, the ADuM1400/ADuM1401/ADuM1402 provide low pulse width distortion (<2 ns for CRW grade) and tight channel-to-channel matching (<2 ns for CRW grade). Unlike other optocoupler alternatives, the ADuM1400/ADuM1401/ADuM1402 isolators have a patented refresh feature that ensures dc correctness in the absence of input logic transitions and when power is not applied to one of the supplies.

<sup>1</sup> Protected by U.S. Patents 5,952,840; 6,873,063; 6,903,578; and 7,075,320.

## FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAMS

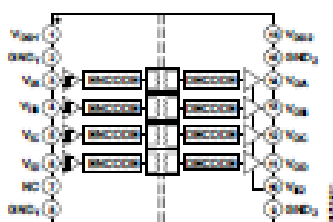


Figure 1. ADuM1400

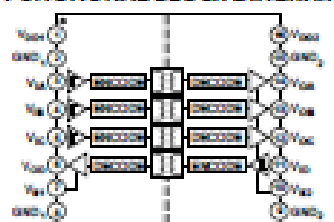


Figure 2. ADuM1401

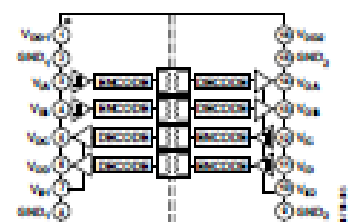


Figure 3. ADuM1402

Rev. L

Document Feedback

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

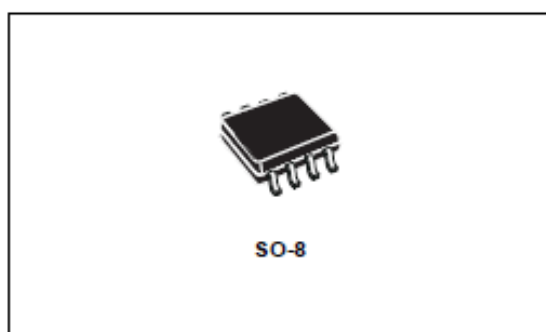
One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.  
Tel: 781.326.4700 ©2003–2016 Analog Devices, Inc. All rights reserved.  
Technical Support [www.analog.com](http://www.analog.com)

## EK 13. ST4485EB Kataloĝu.

**ST4485EB**

3.3 V powered, 15 kV ESD protected, up to 20 Mbps RS-485/  
RS-422 transceiver

Datasheet - production data



- Guaranteed high receiver output state for floating inputs with no signal present
- Allow up to 64 transceivers on the bus
- Wide operating temperature range: -40 to +105 °C

### Applications

- Industrial systems control
- Telecommunications

### Features

- ESD protection
  - $\pm 15$  kV human body model
  - $\pm 8$  kV IEC 1000-4-2 contact discharge
- Operate from a single 3.3 V supply - no charge pump required
- Interoperable with 5 V logic
- 1  $\mu$ A low current shutdown mode max.
- Guaranteed 20 Mbps data rate
- -7 to 12 V common mode input voltage range
- Half duplex versions available
- Industry standard 75176 pinout
- Current limiting and thermal shutdown for driver overload protection

### Description

The ST4485EB device is a  $\pm 15$  kV ESD protected, 3.3 V low power transceiver for RS-485 and RS-422 communications. The device contains one driver and one receiver in half duplex configuration.

The ST4485EB transmits and receives at a guaranteed data rate of at least 20 Mbps.

All transmitter outputs and receiver inputs are protected to  $\pm 15$  kV using "Human Body Model".

The driver is short-circuit current limited and is protected against excessive power dissipation by thermal shutdown circuitry that places the driver outputs into a high-impedance state.

Table 1. Device summary

Order code	Temperature range	Package	Packaging
ST4485EBDR	-40 to 105 °C	SO-8 (tape and reel)	2500 parts per reel



## EK 14. SR3232EBDR Kataloĝu.


**ST3232EB**  
**ST3232EC**

± 15 kV ESD protection 3 to 5.5 V low power,  
up to 250 kbps, RS-232 drivers and receivers

### Features

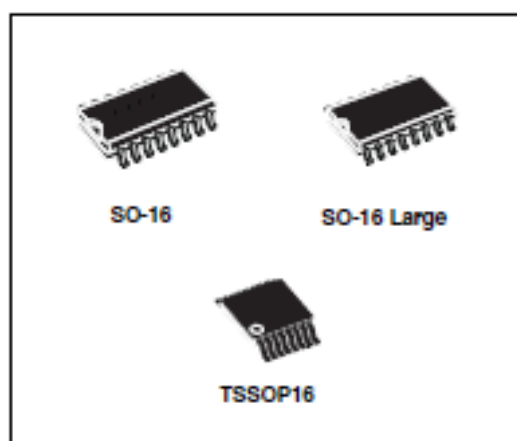
- ESD protection for RS-232 I/O pins
- ±15 kV human body model
- ±8 kV IEC 1000-4-2 contact discharge
- 300 µA supply current
- 250 kbps minimum guaranteed data rate
- 6 V/µs minimum guaranteed slew rate
- Meet EIA/TIA-232 specifications down to 3 V
- Available in SO-16, SO-16 large and TSSOP16

### Applications

- Notebook, subnotebook and palmtop computers
- Battery powered equipment
- Hand-held equipment
- Peripherals and printers

### Description

The ST3232E is a 3 V powered EIA/TIA-232 and V.28/V.24 communication interfaces with low power requirements, high data-rate capabilities and enhanced electrostatic discharge (ESD) protection to ± 8 kV using IEC1000-4-2 contact discharge and ± 15 kV using the human body model. ST3232E has a proprietary low dropout transmitter output stage providing true RS-232 performance from 3 to 5 V supplies with a dual charge pump. The charge pump requires only four



small 0.1 µF standard external capacitors for operations from 3 V supply.

The ST3232E has two receivers and two drivers.

The device is guaranteed to run at data rates of 250 kbps while maintaining RS-232 output levels.

Table 1. Device summary

Order codes	Temperature range	Packages	Packaging
ST3232ECDR	0 to 70 °C	SO-16 (tape and reel)	2500 parts per reel
ST3232EBDR	-40 to 85 °C	SO-16 (tape and reel)	2500 parts per reel
ST3232ECTR	0 to 70 °C	TSSOP16 (tape and reel)	2500 parts per reel
ST3232EBTR	-40 to 85 °C	TSSOP16 (tape and reel)	2500 parts per reel

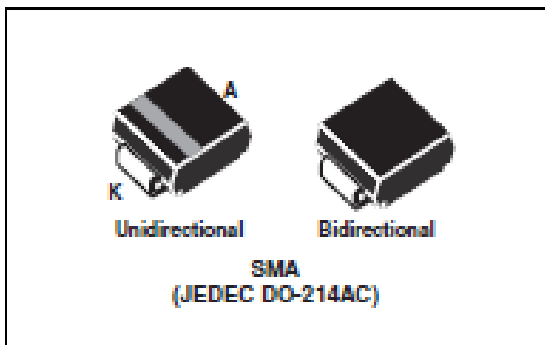
## EK 15. SMA6J Transil.



SMA6J

## High junction temperature Transil™

Datasheet - production data



## Description

The SMA6J Transil series has been designed to protect sensitive equipment against electro-static discharges according to IEC 61000-4-2, MIL STD 883 Method 3015, and electrical over stress such as IEC 61000-4-4 and 5. They are generally for surges below 600 W 10/1000  $\mu$ s.

This planar technology makes it compatible with high-end equipment and SMPS where low leakage current and high junction temperature are required to provide reliability and stability over time. Their low clamping voltages provides a better safety margin to protect sensitive circuits with extended life time expectancy.

Packaged in SMA, this minimizes PCB space consumption (SMA footprint in accordance with IPC 7531 standard).

## Features

- Peak pulse power:
  - 600 W (10/1000  $\mu$ s)
  - 4 kW (8/20  $\mu$ s)
- Stand off voltage range: from 5 V to 188 V
- Unidirectional and bidirectional types
- Low clamping voltage versus standard series
- Low leakage current:
  - 0.2  $\mu$ A at 25 °C
  - 1  $\mu$ A at 85 °C
- Operating  $T_j$  max: 175 °C
- JEDEC registered package outline

## Complies with the following standards

- IEC 61000-4-2 level 4:
  - 15 kV (air discharge)
  - 8 kV (contact discharge)
- MIL STD 883G-Method 3015-7: class3B
  - 25 kV (human body model)

TM: Transil is a trademark of STMicroelectronics



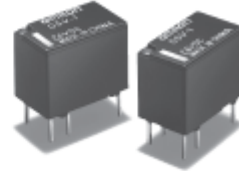
EK 16. Omron G5V-1 Röle.

# G5V-1

Low Signal Relay

## Ultra-miniature, Highly Sensitive SPDT Relay for Signal Circuits

- Ultra-miniature at 12.5 × 7.5 × 10 mm (L × W × H).
- Wide switching power of 1 mA to 1 A.
- High sensitivity: 150 mW nominal coil power consumption.
- Fully-sealed construction offering environment resistance.
- Conforms to FCC Part 68 requirements for coil to contacts. (1,500 V, 10 × 160 μs)
- Models for ambient temperatures up to 90°C added to series.



RoHS Compliant

### Model Number Legend

- G5V-□-□  
1 2
- Number of Poles/Contact Form**  
1: 1-pole/SPDT (1c)
  - Classification**  
None: Standard (Ambient operating temperature 70°C max.)  
T90: Ambient operating temperature 90°C max.

### Application Examples

- Telecommunication equipment
- Audio-visual products
- Security equipment
- Building automation equipment

### Ordering Information

Classification	Enclosure rating	Contact form	Terminal Shape	Model	Rated coil voltage	Minimum packing unit
Standard	Fully sealed	SPDT (1c)	PCB terminals	G5V-1	3 VDC	25 posttube
					5 VDC	
					6 VDC	
					9 VDC	
G5V-1-T90				G5V-1-T90	12 VDC	
					24 VDC	
					5 VDC	
					12 VDC	
					24 VDC	

Note: When ordering, add the rated coil voltage to the model number.  
Example: G5V-1 DC3

□ — Rated coil voltage

However, the notation of the coil voltage on the product case as well as on the packing will be marked as □ VDC.

### Standard Model Specifications

Contact type: Single crossbar (Au-alloy + Ag)

Enclosure rating: Plastic sealed

Terminal shape: PCB terminals

### Ratings

#### Coil

##### G5V-1 (Standard)

Rated voltage	Rated current (mA)	Coil resistance (Ω)	Must operate voltage (V)	Must release voltage (V)	Max. voltage (V)	Power consumption (mW)
3 VDC	50	60	% of rated voltage		200% at 23°C	Approx. 150
5 VDC	30	167	80% max.	10% min.		
6 VDC	25	240				
9 VDC	16.7	540				
12 VDC	12.5	960				
24 VDC	6.25	3,840				

##### G5V-1-T90

Rated voltage	Rated current (mA)	Coil resistance (Ω)	Must operate voltage (V)	Must release voltage (V)	Max. voltage (V)	Power consumption (mW)
5 VDC	30	167	% of rated voltage		200% at 23°C	Approx. 150
12 VDC	12.5	960	70% max.	10% min.		
24 VDC	6.25	3,840				

Note 1. The rated current and coil resistance are measured at a coil temperature of 23°C with a tolerance of ±10%.

2. The operating characteristics are measured at a coil temperature of 23°C.

3. The maximum voltage is the highest voltage that can be imposed on the relay coil.

4. G5V-1-2 types with a must operate voltage of 70% max. are available as special series products.

#### Contacts

Item	Load	Resistive load
Contact type	Single crossbar	
Contact material	Au-alloy + Ag	
Rated load	0.5 A at 125 VAC, 1 A at 24 VDC	
Rated carry current	2 A	
Max. switching voltage	125 VAC, 60 VDC	
Max. switching current	1 A	

EK 17. Marata NFE61P.

Noise Suppression Products/EMI Suppression Filters > EMIFIL® (LC Combined) > Feed through Type

**Data Sheet** 1

## EMIFIL® (LC Combined) Feed through Type

### NFE61P Series (2706 Size)

---

#### ■ Dimensions

#### ■ Insertion Loss Characteristics (Main Items)

---

#### ■ Equivalent Circuit

#### ■ Packaging

Code	Packaging	Minimum Quantity
L	180mm Embossed Tape	2500
K	330mm Embossed Tape	8000
B	Bulk(Bag)	500

---

#### ■ Rated Value (□: packaging code)

Part Number	Capacitance	Rated Current	Rated Voltage	Insulation Resistance (min.)	Operating Temperature Range
NFE61PT330B1H9□	33pF ±30%	2A	50Vdc	1000M ohm	-40 to +85°C
NFE61PT680B1H9□	68pF ±30%	2A	50Vdc	1000M ohm	-40 to +85°C
NFE61PT101Z1H9□	100pF ±50%	2A	50Vdc	1000M ohm	-40 to +85°C
NFE61PT181B1H9□	180pF ±50%	2A	50Vdc	1000M ohm	-40 to +85°C
NFE61PT361B1H9□	360pF ±20%	2A	50Vdc	1000M ohm	-40 to +85°C
NFE61PT681B1H9□	680pF ±50%	2A	50Vdc	1000M ohm	-40 to +85°C
NFE61PT102E1H9□	1000pF 80/-20%	2A	50Vdc	1000M ohm	-40 to +85°C
NFE61PT472C1H9□	4700pF 80/-20%	2A	50Vdc	1000M ohm	-40 to +85°C

Number of Circuit: 1

Continued on the following page.

---

⚠ This data sheet is applied for CHIP EMIFIL® used for General Electronics equipment for your design.

△Note:

- This datasheet is downloaded from the website of Murata Manufacturing Co., Ltd. Therefore, it's specifications are subject to change or our products in it may be discontinued without advance notice. Please check with our sales representatives or product engineers before ordering.
- This datasheet has only typical specifications because there is no space for detailed specifications. Therefore, please approve our product specifications or transact the approval sheet for product specifications before ordering.

**EK 18.** Voltion BMS Haberleşme Protokolü.



---

Haberleşme Protokolü

## EK 18. (devam)



## İÇİNDEKİLER

1. UZAK CİHAZ – MASTER FONKSİYONLARI.....	2
1.1. Tüm Sistemin Gerilim ve Sıcaklık Değerlerini Gönderme İsteği (20).....	2
1.2. Tüm Sistemin Gerilim Değerlerini Gönderme (21).....	2
1.3. Tüm Sistemin Sıcaklık Değerlerini Gönderme (22).....	2
1.4. Akım ve Sistem Durumunu Gönderme İsteği (23).....	3
1.5. Akım ve Sistem Durumunu Gönderme (24).....	3
1.6. Sistemin En Küçük ve En Büyük Hücre Değerlerini Öğrenme İsteği (25).....	3
1.7. Sistemin En Küçük ve En Büyük Hücre Değerlerini Gönderme (26).....	4
1.8. Firmware Versiyonu Gönderme İsteği (95).....	4
1.9. Firmware Versiyonu Gönderme (96).....	4

## EK 18. (devam)



## 1. HABERLEŞME PROTOKOLÜ

## 1.1. Tüm Sistemin Gerilim ve Sıcaklık Değerlerini Gönderme İsteği (20)

Uzak cihaz, master modülden batarya yönetim sisteminin gerilim ve sıcaklık değerlerini bu opcode ile ister.

UZAK CİHAZ----> MASTER

**FORMAT:**

[SID, Opcode, DataLength]Checksum\*<CR><LF>

**ÖRNEK:**

[1000,20,000]207\*<CR><LF> (19 Bytes)

## 1.2. Tüm Sistemin Gerilim Değerlerini Gönderme (21)

Master modül, tüm sistemin gerilim değerlerini bu opcode ile gönderir.

MASTER ----> UZAK CİHAZ

**FORMAT:**

[BMS\_SID, OpCode, DataLength,V<sub>1</sub>,V<sub>2</sub>,V<sub>3</sub>,V<sub>4</sub>,V<sub>5</sub>,V<sub>6</sub>,V<sub>7</sub>,V<sub>8</sub>,V<sub>9</sub>,V<sub>10</sub>,V<sub>11</sub>,V<sub>12</sub>]Checksum\*<CR><LF>

Değişken Adı	Uzunluk	Açıklama
<BMS_SID >	4 Byte	Bilgisi gönderilen BMS'in ID'si
< V <sub>n</sub> >	4 Byte	mV Cinsinden Hücre Gerilimi. Bağlı olmayan hücrelerin değerleri "----" şeklinde gönderilir.

**ÖRNEK:**

[1000,21,060,0000,1111,2222,3333,4444,5555,6666,7777,8888,9999,0000,1111]193\*<CR><LF> (79 Byte)

## 1.3. Tüm Sistemin Sıcaklık Değerlerini Gönderme (22)

Master modül, tüm sistemin sıcaklık değerlerini bu opcode ile gönderir.

MASTER ----> UZAK CİHAZ

**FORMAT:**

[BMS\_SID, OpCode, DataLength,T<sub>1</sub>,T<sub>2</sub>]Checksum\*<CR><LF>

Değişken Adı	Uzunluk	Açıklama
<BMS_SID >	4 Byte	Bilgisi gönderilen BMS'in ID'si
<T <sub>n</sub> >	3 Byte	Sıcaklık Değeri. Değer ondalık, bir hane olarak gönderilmektedir.

**ÖRNEK:**

[1000,22,008,111,222]129\*<CR><LF> (27 Byte)

## EK 18. (devam)



## 1.4. Akım ve Sistem Durumunu Gönderme İsteği (23)

Master modülden, akım değeri ve sistem durumuyla ilgili bilgi bu opcode ile istenir.

UZAK CİHAZ---> MASTER

**FORMAT:**

[SID, Opcode, DataLength]Checksum\*<CR><LF>

**ÖRNEK:**

[1000,23,000]180\*<CR><LF> (19 Bytes)

## 1.5. Akım ve Sistem Durumunu Gönderme (24)

Master modül, akım değeri ve sistem durumuyla ilgili bilgiyi bu opcode ile gönderir.

MASTER ---> UZAK CİHAZ

**FORMAT:**

[SID, OpCode, DataLength, Current, SystemStatus]Checksum\*<CR><LF>

Değişken Adı	Uzunluk	Açıklama
< Current >	6 Byte	Ondalık hane 2 adet olacak halde akım değeridir. Gelen değer "±xxx.xx" formatında değerlendirilmelidir.
< SystemStatus >	1 Byte	0: No System Error. 1: Over Discharge Current (Emergency Output Acvitaved) 2: Over Charge Current (Emergency Output Acvitaved) 3: Cell Over Voltage (Emergency Output Acvitaved) 4: Cell Under Voltage(Emergency Output Acvitaved) 5: Over Temperature(Emergency Output Acvitaved)

**ÖRNEK:**

[1000,24,008,±12345,0]174\*<CR><LF> (27 Byte)

## 1.6. Sistemin En Küçük ve En Büyük Hücre Değerlerini Öğrenme İsteği (25)

Master modülden, sistemdeki en küçük ve en büyük hücre gerilimleri bu opcode ile istenir.

UZAK CİHAZ---> MASTER

**FORMAT:**

[SID, Opcode, DataLength]Checksum\*<CR><LF>

**ÖRNEK:**

[1000,25,000]066\*<CR><LF> (19 Bytes)

## EK 18. (devam)



## 1.7. Sistemin En Küçük ve En Büyük Hücre Değerlerini Gönderme (26)

Master modül, sistemin en büyük ve en küçük hücre değerlerini bu opcode ile gönderir.

MASTER ----> UZAK CİHAZ

**FORMAT:**

[SID, OpCode, DataLength, MinValue, MaxValue, Temperature ]Checksum\*<CR><LF>

Değişken Adı	Uzunluk	Açıklama
< MinValue >	4 Byte	mV Cinsinden En Küçük Hücre Gerilimi
< MaxValue >	4 Byte	mV Cinsinden En Büyük Hücre Gerilimi
< Temperature >	3 Byte	Derece Cinsinden En Büyük Sıcaklık Değeri

**ÖRNEK:**

[1000,26,1234,5678,980]033\*<CR><LF> (29 Byte)

## 1.8. Firmware Versiyonu Gönderme İsteği (95)

Modülden, firmware versiyonu bu opcode ile istenir.

UZAK CİHAZ----> MASTER

**FORMAT:**

[SID, Opcode, DataLength]Checksum\*<CR><LF>

**EXAMPLE:**

[1000,95,000]206\*<CR><LF> (19 Bytes)

## 1.9. Firmware Versiyonu Gönderme (96)

Modül, firmware versiyonu bu opcode ile gönderir.

MASTER ----> UZAK CİHAZ

**FORMAT:**

[SID,OpCode,DataLength,F<sub>1</sub>F<sub>2</sub>F<sub>3</sub>F<sub>4</sub>F<sub>5</sub>F<sub>6</sub>F<sub>7</sub>F<sub>8</sub>]Checksum\*<CR><LF>

Değişken Adı	Uzunluk	Açıklama
< F <sub>n</sub> >	8 Byte	F <sub>1</sub> : Değeri her zaman 1 F <sub>2</sub> : Değeri her zaman 0 F <sub>3</sub> : Değeri her zaman 0 F <sub>4</sub> F <sub>5</sub> : Üst Versiyon F <sub>6</sub> F <sub>7</sub> F <sub>8</sub> : Alt Versiyon

**ÖRNEK:**

[1000,06,013,12345678]134\*<CR><LF>

## ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Orçun KARADENİZ
Doğum Yeri	Beykoz
Doğum Tarihi	13.04.1990
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	+90 555 834 81 90
E-Posta Adresi	orcun.karadeniz@gmail.com
Web Adresi	www.arg3.com.tr



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Mezuniyet Yılı	09.07.2013

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Elektrik Elektronik Mühendisliği Programı
Mezuniyet Tarihi	31.01.2017