



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA **BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI**

MELİHA RİGAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2020

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA
BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI

MELİHA RİGAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2020

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

MELİHA RİĞAN



Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: 2020/1-3 YLS

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bilgilerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI (YÜKSEK LİSANS TEZİ)

MELİHA RİĞAN

ÖZET

Son yıllarda elektrikli araçların kullanım alanı her geçen gün hızla artmaktadır. Bu artış ile paralel olarak elektrikli araç teknolojilerinin gelişimi büyük bir ilgi görmektedir. Elektrikli araçların en önemli bileşenlerinden biri enerji depolama sistemleridir. Elektrikli araçlarda bataryanın performansı, aracın performansını doğrudan etkilediği için enerji depolama birimi olarak ısı kararlılığı yüksek ve tekrar dolum ömrü uzun olan, tekrar şarj edilebilen, zehirli madde içermeyen lityum iyon bataryalar tercih edilmektedir. Bataryaların en önemli bileşenlerinden birisi Batarya Yönetim Sistemi (BYS) adı verilen elektronik kontrol birimidir.

Elektrikli araç bataryasının performansını maksimum seviyeye getirebilmek için BYS'nin görevlerini hatasız bir şekilde yerine getirmesi istenmektedir. Bu tez çalışmasında lityum iyon bataryalar için kullanılabilecek bir BYS tasarımı yapılmıştır. Tasarımda dokuz adet lityum iyon batarya seri olarak birbirine bağlanmıştır, LTC6802-2 entegre devresi kullanılarak hücrelerin dengelenmesi pasif şekilde yapılmıştır. Aşırı gerilim, düşük gerilim ve sıcaklık korumasına sahip olan, elektrikli araçların bataryasında kullanılmaya uygun BYS özellikleri belirlenmiştir ve bu doğrultuda özgün bir BYS'nin donanımsal olarak tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Batarya yönetim sistemi, Elektrikli araçlar, Elektrik bataryaları, Hücre dengeleme işlemi, Lityum iyon bataryalar, Pasif dengeleme

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimler Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Haziran/2020

Danışman: Prof. Dr. Mustafa ŞEKKELİ

Sayfa Sayısı: 96

BATTERY MANAGEMENT SYSTEM DESIGN OF ELECTRIC VEHICLES

(M.Sc. THESIS)

MELİHA RİGAN

ABSTRACT

In recent years, the usage area of electric vehicles has been increasing day by day. In parallel with this increase, the development of electric vehicle technologies is of great interest. One of the most important components of electric vehicles is energy storage systems. In electric vehicles, because the performance of the battery directly affects the performance of the vehicle, lithium ion batteries with high temperature stability and long recharge life, which can be recharged and do not contain toxic substances are preferred as energy storage units. One of the most important components of the batteries is the electronic control unit called Battery Management System (BMS).

In order to maximize the performance of the electric vehicle battery, BMS is requested to perform its duties without any errors. In this thesis, a BMS design that can be used for lithium-ion batteries has been designed. In the design, nine lithium-ion batteries are connected in series, and the cells are passively balanced using the integrated circuit LTC6802-2. The properties of BMS, which have overvoltage, undervoltage and temperature protection, suitable for use in the battery of electric vehicles have been determined and in this direction, a unique BMS has been designed as a hardware.

Keywords: Battery management system, Electric vehicles, Electric batteries, Cell balancing process, Lithium ion batteries, Passive balancing

Kahramanmaraş Sütçü Imam University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering, June/2020

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa ŞEKKELİ

Page number: 96

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması süresince bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, çalışmamın her aşamasında ilgisinden ve bilimsel katkılarından dolayı danışman hocam Prof. Dr. Mustafa ŞEKKELİ'ye sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmada bana büyük desteği olan hocam Mehmet Uğraş CUMA'ya sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca bilgi ve birikimlerini bana aktaran KSÜ Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü hocalarıma sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez savunma komitesinde bulunan, olumlu ve yapıcı eleştirileriyle bu tez çalışmasına katkı sağlayan Dr. Öğr. Üyesi Ö. Fatih KEÇECİOĞLU ve Dr. Öğr. Üyesi Hakan AÇIKGÖZ hocalarıma sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmama 2020/1-3 YLS no'lu proje kapsamında maddi destek sağlayan Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi BAP birimine teşekkürlerimi sunarım.

Özellikle bu günlere gelmemde her türlü maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen her koşulda yanımda olan çok değerli anneme, babama ve tez çalışma sürecim boyunca her türlü fedakârlığı gösteren abilerime, yeğenlerime ve dostlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Meliha RİGAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	İ
ABSTRACT.....	İİ
TEŞEKKÜR.....	İİİ
İÇİNDEKİLER.....	İV
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ	IX
EKLER DİZİNİ	X
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Önemi	2
1.2. Araştırmanın Amacı.....	2
1.3. Önceki Çalışmalar	3
2. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ.....	6
2.1. Elektrikli Araçların Üstünlükleri ve Zayıf Yönleri	7
2.1.1. Elektrikli araçların üstünlükleri	7
2.1.2. Elektrikli araçların zayıf yönleri	7
2.2. Elektrikli Araç Çeşitleri	8
2.2.1. Melez elektrikli araçlar	8
2.2.2. Yakıt bataryalı elektrikli araçlar	10
2.2.3. Batarya paketli elektrikli araçlar	11
2.3. Elektrikli Araçların Matematiksel Modelleri.....	11
2.4. Elektrikli Araçların Türkiye’deki Durumu	14
3. BATARYALAR VE YÖNETİM SİSTEMLERİ	16
3.1. Bataryalar.....	16
3.2. Elektrikli Araçlarda Kullanılan Batarya Çeşitleri.....	17
3.2.1. Kurşun-Asit bataryalar (Pb).....	19
3.2.2. Nikel kadmiyum batarya (Ni-Cd)	19
3.2.3. Nikel metal hidrat batarya (Ni-MH)	20
3.2.4. Lityum iyon batarya (Li-ion)	20

	<u>Sayfa No</u>
3.2.5. Lityum iyon polimer batarya (LiPo)	22
3.2.6. Lityum demir fosfat batarya (LiFePO ₄)	23
3.2.7. Lityum sülfür batarya (Li-S)	24
3.3. Lityum İyon Bataryalar İçin Eşdeğer Devre Modelleri	24
3.3.1. Rint modeli	24
3.3.2. RC modeli	25
3.3.3. Thevenin modeli	26
3.3.4. PNGV modeli	26
3.3.5. DP modeli	27
3.4. Batarya Yönetim Sistemi Türleri	28
3.4.1. Merkezi BYS	28
3.4.2. Modüler BYS	29
3.4.3. Ana kart-Yardımcı kart BYS	30
3.4.4. Dağıtılmış BYS	31
3.4.5. Batarya yönetim sistemi türlerinin karşılaştırılması	31
3.5. Batarya Hücre Gerilimleri Dengeleme Yöntemleri	32
3.5.1. Pasif dengeleme	33
3.5.2. Aktif dengeleme	34
3.5.3. Pasif dengeleme ve aktif dengeleme yöntemlerinin karşılaştırılması	41
3.6. Batarya Yönetim Sistemi ve Görevleri	41
3.6.1. Batarya izleme görevleri	42
3.6.2. Bataryayı koruma görevleri	43
3.6.3. Şarj/Deşarj yönetimi	44
3.6.4. Teşhis ve Kestirim Görevleri	45
3.6.5. Veri yönetme görevleri	47
4. MATERYALLER VE BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI	48
4.1. Tasarımda Kullanılan Batarya Türü	48
4.2. Yardımcı Kart Tasarımı	49
4.3. Ana Kart Tasarımı	56
4.4. Görüntüleme Sistemi	59
5. SONUÇLAR	60
KAYNAKLAR	63
EKLER	67
EK-1 Arduino Programı	67
EK-2 LTC6802-2 Entegresinin Açık Devre Şeması	81
ÖZGEÇMİŞ	82

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AA	: Alternatif Akım
BYS	: Batarya Yönetim Sistemi
BMD	: Bulanık Mantık Denetleyicisi
DA	: Doğru Akım
E_{o1}	: Referans Gerilimi
E_{o2}	: Sabit Voltaj
EKM	: Enerji Koruma Modu
F	: Faraday Sabiti
g	: Yerçekimi İvmesi
HT	: Hidrojen Yakıt Tüketimi
İYM	: İçten Yanmalı Motor
K	: Polarizasyon Sabiti
kHz	: Kiloherertz
LiCoO₂	: Lityum Kobalt Oksit
LiMn₂O₂	: Lityum Manganez Oksit
LiNiO₂	: Lityum Nikel Oksit
MTV	: Motorlu Taşıtlar Vergisi
MUX	: Multiplexer
ÖTV	: Özel Tüketim Vergisi
SOC	: Kapasite Durumu
SOH	: Sağlık Durumu
SPI	: Serial Peripheral Interface Bus
T_{yp}	: Hücre Sıcaklığı
UART	: Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
V	: Volt
Q	: Maksimum Pil Kapasitesi
°C	: Celsius
%	: Yüzde

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Seri melez elektrikli aracın temel yapısı	9
Şekil 2.2. Paralel melez elektrikli aracın temel yapısı.....	9
Şekil 2.3. Seri/Paralel melez elektrikli aracın temel yapısı	10
Şekil 2.4. Yakıt bataryalı elektrikli aracın temel yapısı	10
Şekil 2.5. Batarya paketli elektrikli aracın temel yapısı	11
Şekil 2.6. Elektrikli araca etkiyen kuvvetler.....	11
Şekil 2.7. Türkiye tam elektrikli ve melez araç satış rakamları	15
Şekil 3.1. Batarya tipine göre enerji yoğunlukları.....	18
Şekil 3.2. Kurşun-asit batarya	19
Şekil 3.3. Lityum iyon batarya kesiti.....	21
Şekil 3.4. Lityum iyon polimer batarya.....	23
Şekil 3.5. LiFePO ₄ batarya.....	24
Şekil 3.6. Rint modelinin şematik diyagramı	25
Şekil 3.7. RC modelinin şematik diyagramı.....	25
Şekil 3.8. Thevenin modelinin şematik diyagramı	26
Şekil 3.9. PNGV modelinin şematik diyagramı	27
Şekil 3.10. DP modelinin şematik diyagramı	28
Şekil 3.11. Merkezi BYS.....	29
Şekil 3.12. Modüler BYS	30
Şekil 3.13. Ana kart-Yardımcı kart BYS.....	30
Şekil 3.14. Dağıtılmış BYS	31
Şekil 3.15. Hücre gerilimleri dengeleme	32
Şekil 3.16. Batarya hücre dengeleme yöntemi türleri	32
Şekil 3.17. Sabit dirençli pasif dengeleme yönteminin devre şeması	33
Şekil 3.18. Anahtarlama direç pasif dengeleme yönteminin devre şeması	34

Şekil 3.19. Anahtarlama kapasitör yönteminin devre şeması	35
Şekil 3.20. Tekli anahtarlama kapasitör yönteminin devre şeması	35
Şekil 3.21. Çift katlı anahtarlama kapasitör yönteminin devre şeması	36
Şekil 3.22. Modülerize anahtarlama kapasitör yönteminin devre şeması	37
Şekil 3.23. Tek/Çok anahtarlı indüktör yönteminin devre şemaları	38
Şekil 3.24. Tek sarımlı transformatör yönteminin devre şeması	39
Şekil 3.25. Çok sarımlı transformatör yönteminin devre şemaları	39
Şekil 3.26. Çoklu transformatör yönteminin devre şeması	40
Şekil 3.27. BYS'nin görevleri	42
Şekil 3.28. Örnek bir şarj karakteristiği.....	44
Şekil 3.29. Tahmine dayalı yöntemler için örnek devre şeması	46
Şekil 3.30. Paralel olarak iki hücrenin SOH'si	47
Şekil 4.1. Lityum iyon bataryanın güvenli çalışma bölgesi	49
Şekil 4.2. LTC6802-2 uygulama devresi.....	51
Şekil 4.3. Blok şeması	52
Şekil 4.4. Harici bir hücre degeleme devresi.....	53
Şekil 4.5. Yardımcı kartın PCB düzeni	53
Şekil 4.6. BYS'nin kontrol algoritması	54
Şekil 4.7. İzole yüksek hızlı veri arabirim sağlama.....	55
Şekil 4.8. Hücre girişlerine RC filtresi ekleme.....	56
Şekil 4.9. DS18B20 sıcaklık sensörünün blok şeması	57
Şekil 4.10. Sıcaklık kontrol algoritması	58
Şekil 4.11. Ana kartın PCB düzeni.....	58
Şekil 4.12. Koruma kutusu üzerine yerleştirilen Nextion HMI ekran görüntüsü.....	59
Şekil 4.13. Tasarımı gerçekleştirilen BYS'nin genel görüntüsü	61

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Elektrikli araçlarda kullanılan farklı batarya türleri ve özellikleri	18
Çizelge 3.2. Elektrikli araçlarda kullanılan BYS türlerinin karşılaştırılması	31
Çizelge 3.3. Pasif dengeleme ve aktif dengeleme yöntemlerinin karşılaştırılması	41



EKLER DİZİNİ

Sayfa No

EK-1 Arduino Programı	67
EK-2 LTC6802-2 Entegresinin Açık Devre Şeması	81



1. GİRİŞ

Enerji, insanın yaşamını sürdürebilmesi için büyük bir öneme sahiptir. Bu sebeple araştırmalar, yeni yeşil enerji teknolojilerinin ortaya çıkmasını sağlamakta ve fosil yakıtlara olan bağılılığımızı azaltmaktadır. Böylece çevreye verilen zararda bu azalmaya paralel olarak azalma göstermektedir. Fosil yakıtların çevreye verdiği zararlar ve çevreci bakış açısının yayılması gibi faktörlerden dolayı elektrikli araçlar her geçen gün hayatımızda daha fazla yer almaya başlamıştır.

Elektrikli araçlar üzerine yapılan çalışmalar fosil yakıtların tükenmesi korkusu ve çevreye etkileri sebebiyle 20.yy'da yaygınlaşmışsa da (Baygüneş, 2019), elektrikli araçlar hakkında yapılan çalışmalar 1800'lü yılların başına kadar uzanmaktadır. 1835-1838 yılları arasında ilk elektrikli araç prototipleri üretilmeye başlanmıştır. Daha sonra 1838 yılında dünyanın ilk elektrikli trolleybüsü üretilmiştir. 1886 senesinde İçten Yanmalı Motor (İYM) ile çalışan ilk otomobil satışa sunulmuştur. 1900-1903 yılları arasında ilk kez melez yapılandırılma üzerine çalışılmıştır. 1920-1960 yılları arasında elektrikli araçlara duyulan ilgi azalmış İYM kullanımı artmıştır. Fosil yakıtların çevreye verdiği zararların artması elektrikli araçları yeniden gündeme gelmesine sebep olmuştur. 1970'lerin ortalarında yaşanan petrol krizi sonrasında ise 1980'li yıllarda resmi kaynaklardan ekonomik destek verilmeye başlanmıştır. 1990'larda özellikle batarya teknolojisinin gelişmesiyle ve daha sonraki yıllarda güç elektroniğinin gelişmesiyle birlikte elektrikli araçlar bugünkü durumuna gelmiş bulunmaktadır (Kocabey, 2018).

Elektrikli araçların yaygınlaşması ile birlikte elektrikli araçları oluşturan alt sistemler ve elektrikli araç teknolojileride hızlı bir şekilde gelişmektedir. Elektrikli araçların en önemli bileşenlerinden biri enerji depolama sistemleridir (Gül, 2018). Bu enerji depolama sistemlerinde yeniden şarj edilebilir batarya teknolojileri kullanılmaktadır, ancak batarya teknolojileri şu an için istenilen performansı sağlayamamaktadır. Bu sebeple batarya teknolojilerinin performansını istenilen seviyeye getirmek için verimli ve etkili bir Batarya Yönetim Sistemine (BYS) gereksinim vardır (Ekici, 2019).

Tezde bölümlere göre yapılan çalışmalar şu şekilde özetlenebilir:

Birinci bölümde, elektrikli araçların geçmişten günümüze olan gelişimi hakkında bilgiler verilmiştir. Yapılan çalışmanın önemi ve amacı kısa bir şekilde anlatılarak, bu konu hakkında bu zamana kadar yapılan bazı akademik çalışmalar hakkında özet nitelikli bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde, elektrikli araçların olumlu ve olumsuz özellikleri hakkında bilgiler verilmiş ve elektrikli araç çeşitleri incelenmiştir.

Üçüncü bölümde, batarya özellikleri ve batarya çeşitleri hakkında bilgiler verilmiş, batarya yönetim sistemi türleri tanıtılmış ve karşılaştırılmıştır. Batarya hücre dengeleme yöntemleri anlatılmış ve yöntemler arasında karşılaştırma yapılmıştır, bölümün son kısmında ise BYS ve görevleri hakkında özet nitelikli bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde, BYS'nin uygulamasında kullanılan malzemeler tanıtılmıştır ve uygulamanın yapım aşamaları anlatılmıştır.

Beşinci bölümde ise tez çalışmasının sonuçları hakkında bilgiler verilmiş ve ileride yapılacak çalışmalar hakkında önerilerde bulunulmuştur.

1.1. Araştırmanın Önemi

Dünyamızda çevre koşullarını iyileştirebilmek için elektrikli araçların kullanımı yaygınlık kazanmış durumdadır. Pek çok alanda hayatımıza giren elektrikli araçlar ulaşım sektöründe de varlığını göstermektedir. Petrol ihtiyacını ortadan kaldırmak, zararlı gaz salınımlarının önüne geçmek, sessiz ve yüksek verimlilikte çalışan araçlar tasarlamak gibi olumlu etkilerinden dolayı elektrikli araçlardaki gelişmeler hız kazanmıştır. Fakat elektrikli araçların en önemli sorunu batarya kapasitelerinin sınırlı olmasıdır. Bu sebeple daha etkili ve verimli bir şekilde çalışan BYS üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Proje tamamlandığında günümüzde gelişen ve önemi giderek artan elektrikli araçların BYS tasarlanarak yapılan çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

1.2. Araştırmanın Amacı

Elektrikli araçların bataryasının kullanım sırasında anlık olarak takip etmek gerekmesi sebebiyle bu tez çalışmasında bataryaların gerilim, sıcaklık ve akım değerleri ölçülüp görüntülenerek, batarya hücrelerini yüksek akım, yüksek sıcaklık, aşırı şarj olma, zamansız deşarj olma gibi olumsuz durumlardan koruyarak batarya performansını artırmak amaçlanmıştır.

Yerli üretim konusunda ülkemize katkıda bulunacağı düşünülmekle birlikte ileride bu konuda yapılacak çalışmalara ışık tutarak BYS'nin daha çok geliştirilmesine yardımcı olabilecektir.

1.3. Önceki Çalışmalar

Batarya alanında yapılan çalışmaların giderek artması bu alanda yapılan bilimsel çalışmaların artmasını da beraberinde getirmiştir. Tez süresi boyunca bu alanda yapılan çalışmalardan yararlanılmıştır.

Aldoğan, çalışmasında BYS üzerine araştırmalar yaparak bir BYS modeli belirleyip tasarımını gerçekleştirmiştir. Tasarım basit bir şekilde denenmiş ve başarılı bir şekilde çalıştığı görülmüştür. Son olarak da kendinden sonra gerçekleştirilecek çalışmalar için önerilerde bulunmuştur (Aldoğan, 2012).

Altun, bu çalışmasında daha önceki çalışmalarda yapılmış BYS yazılım algoritmalarını incelemiş ve BYS'nin özelliklerini ve ihtiyaçlarını tespit etmiştir, sonrasında ise BYS için hem ana kart hem de çocuk kart yazılım algoritmaları tasarlanmıştır ve çalışması kapsamında, batarya paketinin verimini artırmak için Enerji Koruma Modu (EKM) algoritması geliştirmiştir (Altun, 2012).

Nafiz, batarya sayısındaki farklılıklara uyum sağlayabilen ve elektrikli otobüslerde kullanılabilen bir batarya yönetim sistemi tasarımı gerçekleştirmiştir. Bu batarya yönetim sistemi ile datalar anlık olarak izlenebilmekte ve geçmişteki verilere ulaşılabilir. Tasarım RS232, RS485 ve CANBUS haberleşmesi ile haberleşmeyi sağlayabilmektedir. Batarya miktarındaki farklılıklara göre uyarlanabilen ve çift yönlü enerji alış verişine sağlıklı bir ortam tanıyan bir şarj dengeleme tekniği tasarlamıştır (Nafiz, 2014).

Soydaş, çalışmasında lityum tabanlı batarya hücrelerini incelemiş, aktif ve pasif hücre dengeleme yöntemlerini kullanarak bataryaların daha verimli ve uzun ömürlü olabilmesi için yapılan her yeni tasarıma yenilikler eklenerek çeşitli BYS'leri tasarlamıştır. Sonrasında tasarlanan devreler testlerden geçirilmiş ve test sonuçlarından devrelerin başarıyla çalıştığı gözlemlenmiştir (Soydaş, 2015).

Kılıç, çalışmasında araçtaki sistemleri CANBUS ile haberleştirebilen, 32 adet LiFePO4 batarya hücresini denetleyebilen modüler bir BYS tasarlamıştır. Bataryaların gerilim, sıcaklık ve akım değerlerini görüntüleyerek, bataryayı olması muhtemel olumsuz durumlardan korumayı amaçlamıştır. BYS'de ana denetleyici modüle yardımcı olacak uydu denetleyici modüller ekleyerek, yüksek ve düşük gerilim batarya gruplarında, yüksek çözünürlüklü gerilim ve sıcaklık takibi sağlanmıştır (Kılıç, 2016).

Hannan ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada elektrikli araç uygulamalarındaki lityum-iyon pil şarj durumu tahmini ve yönetim sistemi tartışılmaktadır. Amaç, lityum-iyon bataryaların etkili bir kapasite durumu (SOC) tahmin yöntemi geliştirmektir. SOC

tahmin yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları detaylı bir şekilde incelemişler ve açıklamışlardır. Yapılan çalışmanın SOC yöntemlerinin geleceği için önemli olacağı belirtilmiştir (Hannan ve ark., 2017).

Cen ve arkadaşları, batarya paketini soğutmak için klima soğutucusunu kullanan batarya termal yönetim sistemi üzerine çalışmışlardır. Batarya grubunun doğrudan soğutmak için elektrikli araç klima soğutucu kullanılarak lityum-iyon termal yönetim sistemi üzerine çalışmışlardır. Belirlenen ortam sıcaklığına kadar olan değerlerde termal yönetim sisteminin kolayca kontrol edebilmişler ve sıcaklık eşitsizliğini azaltmışlardır (Cen ve ark., 2018).

Gül, otomotiv sektöründe kullanılmaya uygun bir donanımına sahip 12 adet batarya hücresinden oluşan modüler bir BYS tasarlamıştır. Ana kart ve uydu kart ile haberleşmeyi isoSPI haberleşme sistemi yapmaktadır. Gerekli testleri yapmıştır ve Linear Technology firmasının ürettiği LTC6804 entegre devresi kullanılarak verimli bir çalışma ortaya koymuştur (Gül, 2018).

Turğut, bu çalışmada Lityum iyon bataryalar için modüler tip BYS tasarlamıştır. Her bir batarya hücre grubuna bağlanan modüller yardımıyla hücrelerin gerilim ve sıcaklık değerleri okunmaktadır. Sistem üzerinde CAN ağı haberleşmesi kullanılmıştır. Ana modüle gelen bilgiler sayesinde bataryanın SOC'si hesaplanmıştır ve hücreler arası kapasite farklılıklarının giderilmesi sağlanmaktadır. Hücre gerilim dengelenmesinde Bulanık Mantık Denetleyicisi (BMD) kullanılmıştır. Ana modüle gelen bilgiler kaydedilip kablosuz haberleşme sayesinde bilgisayara aktarılarak sistemin takibi sağlanabilmektedir (Turğut, 2018).

Baygüneş, çevre dostu yeni model elektrikli araçların enerji kaynağı olarak kullanılan BYS tasarımını gerçekleştirmiştir. Tasarlanan BYS'de 20 adet seri batarya hücresinin kontrolünü sağlayacak şekilde üretilmiştir. BYS türlerinden merkezi batarya yönetim sistemi kullanılmıştır ve batarya hücreleri arasında pasif dengeleme sistemi uygulanmıştır. Her bir batarya hücresi için SOC'leri hesaplamış ve sağlık durumu (SOH) kestirimleri yapılmıştır. Tasarım testlerden geçirilerek tasarımın etkin bir şekilde çalıştığı ortaya konmuştur (Baygüneş, 2019).

Ekici, çalışmasında dört farklı kimyaya sahip olan ve melez bir elektrikli araç kullanarak BYS tasarımı yapmıştır. Bataryaların aynı BYS ile iki şekilde kontrolü sağlanmıştır. İlk olarak sabit bir Doğru Akım (DA) besleme kaynağı ile bataryaların şarj işlemleri yapılmıştır, ikinci olarak ise bataryalar melez elektrikli araca entegre edilerek aracın harekette olması durumunda deşarj işlemi sağlanmış ve sonrasında jeneratör ile şarj

edilmiştir. Bu çalışma neticesinde, elektrikli araçlarda farklı kimyalara sahip olan bataryaların bir BYS ile kontrol edilmesi üzerine çalışılmıştır (Ekici, 2019).



2. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ

Elektrikli araçlar, bir veya daha fazla elektrik motoru çalıştırılarak, bataryalarda ve diğer enerji depo edebilen elemanlarda depo ettiği elektriği kullanarak hareket ettirilen araçlardır. Elektrikli araçların hem insan yaşamına hem de otomotiv sektörüne ileride daha da önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir (Sezen ve İşler, 2017).

Bir elektrikli araç ana bileşenleri olan, elektrik motoru, motor kontrolörü, çekiş bataryası, batarya yönetim sistemi, araçtan ayrı olarak çalıştırılabilen takılabilir şarj cihazı, kablo sistemi, rejeneratif fren sistemi, araç gövdesi ve bir çerçeveden oluşur.

Elektrikli araçları oluşturan elemanlar sıralanacak olursa bunlar, batarya, şarj portu, DA/DA dönüştürücü, elektrikli çekiş motoru, yerleşik şarj cihazı, güç elektroniği kontrolörü, termal sistem, batarya paketi ve şanzımandır (Web1, 2020).

- Batarya (Yardımcı): Elektrikli bir araçta, yardımcı batarya, çekiş bataryası devreye girmeden önce aracı çalıştırmak için elektrik sağlar ve ayrıca araç aksesuarlarına güç sağlar.
- Şarj portu: Aracın çekiş batarya paketini şarj etmek için harici bir güç kaynağına bağlanmasını sağlar.
- DA/DA dönüştürücü: Bu cihaz, çekiş batarya paketinden daha yüksek voltajlı DA gücünü, araç aksesuarlarını çalıştırmak ve yardımcı bataryayı şarj etmek için gereken düşük voltajlı DA gücüne dönüştürür.
- Elektrikli çekiş motoru: Çekiş batarya paketinden güç alan bu motor, aracın tekerleklerini çalıştırır. Bazı araçlar hem tahrik hem de rejenerasyon fonksiyonlarını yerine getiren motor jeneratörleri kullanır.
- Yerleşik şarj cihazı: Şarj portu üzerinden sağlanan Alternatif Akım (AA) elektriğini alır ve çekiş bataryasını şarj etmek için DA gücüne dönüştürür. Paketi şarj ederken voltaj, akım, sıcaklık ve şarj durumu gibi batarya özelliklerini düzenler.
- Güç elektroniği kontrol cihazı: Bu cihaz, çekiş bataryası tarafından verilen elektrik enerjisi akışını yönetir, elektrikli çekiş motorunun hızını ve ürettiği torku kontrol eder.
- Termal sistem (soğutma): Bu sistem motor, elektrik motoru, güç elektroniği ve diğer bileşenlerin uygun çalışma sıcaklık aralığını korur.
- Çekiş bataryası paketi: Elektrikli çekiş motoru tarafından kullanılmak üzere elektrik depolar.

- Şanzıman: Tekerlekleri sürmek için motordan ve/veya elektrikli çekiş motorundan mekanik güç aktarır.

2.1. Elektrikli Araçların Üstünlükleri ve Zayıf Yönleri

19.yy'dan itibaren kullanılmaya başlanan elektrikli araçlarda, elektrik enerjisi ile çalışan elektrik motorları kullanılmaktadır. Bu kullanılan elektrikli araçların bazı üstünlükleri ve zayıf yönleri bulunmaktadır. (Sezen ve İşler, 2017).

2.1.1. Elektrikli araçların üstünlükleri

Elektrikli araçların üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir:

- Sessiz çalışabilme özelliğine sahiptir.
- Elektrik tüketmesinin yanı sıra, yokuş aşağı ivmelenme, frenleme gibi durumlarda elektrik de üretebilmektedir.
- Elektrikli araçlarda kullanılan parçalar arasında yağ ve yakıt filtreleri, buji, motor ve bağlantıları, yağlar, marş motoru, enjektör, ateşleyici ve bağlantıları, benzin ve egzoz boruları gibi birçok parça bulunmaz.
- Elektrikli araçlarda kullanılan pilin ömrü bitebilir, ama yenilenen teknoloji sayesinde yeni pile geçiş yapılması oldukça kolaydır.
- Elektrik motorunun yüksek torku hızlanma süresinin çok kısa olmasını sağlamaktadır.
- Karbondioksit (CO₂) salınımı yapmamaktadır ve bu da çevre için oldukça önemlidir.
- Birçok ülkede elektrikli araçların ÖTV ve MTV gibi vergileri düşüktür veya yoktur.
- Elektrik motoru ucuzdur, uzun ömürlüdür ve kolayca değiştirilebilir.
- Konvansiyonel bir otomobile uyarlanarak, melez olabilir.
- Petrolün varlığının son olmasına rağmen, elektrik güneş enerjisi var oldukça varlığını koruyacaktır.
- Periyodik bakım giderleri yoktur.

2.1.2. Elektrikli araçların zayıf yönleri

Elektrikli araçlar bazı zayıf yönlere sahip olsalar da zaman içerisinde bu durumların giderileceğine inanılmaktadır. Elektrikli araçların dezavantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Batarya performansı iklim şartlarından az da olsa etkilenmektedir.
- Elektrikli araçlar şarj istasyonlarının azlığı sebebiyle uzun mesafeli kullanımlara uygun değildir ama elektrikli araç kullanımı arttıkça şarj istasyonlarının sayısında artacaktır ve böylece uzun mesafeli kullanımlara uygun hale gelecektir.
- Şarj süreleri fazladır, bataryalara bağlı olan bu problem üzerine çalışılmaktadır.
- Bataryaların yüksek maliyetli ve kısa ömürlü olması, kullanım ömrü bakımında fiyat/performans karşılaştırmasında zayıf kalmasına neden olmaktadır.
- Geniş bir model yelpazesi henüz mevcut değildir.
- Elektrikli araçların menzillerinde yol ve sürüş şekline göre farklılıklar ortaya çıkabilmektedir, bu sorun ise batarya performansı ve pillerin ömürlerinin artırılması sağlandıkça aşılabacaktır.

2.2. Elektrikli Araç Çeşitleri

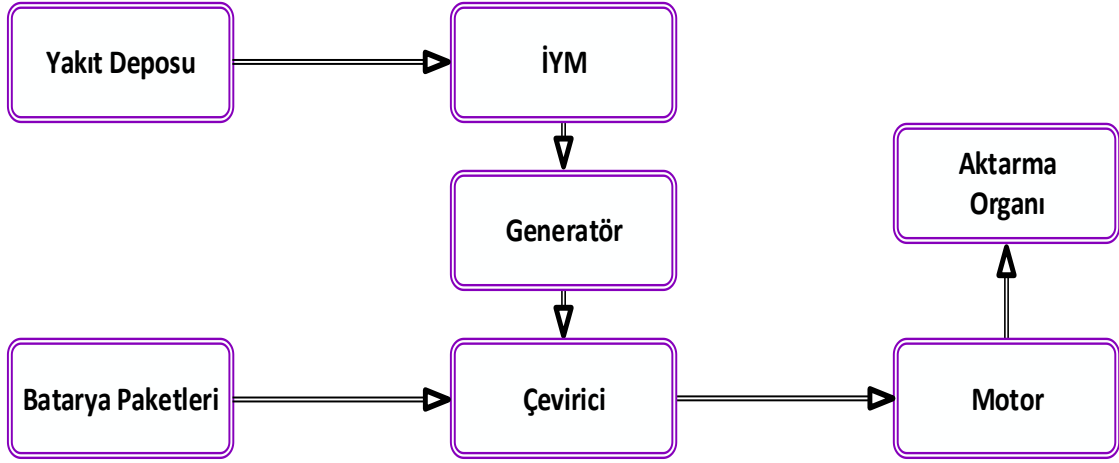
Günümüzde elektrikli araçlar kullandığı enerji kaynağı ve motor çeşitlerine göre üç ana sınıfa ayrılmaktadır (Baygüneş, 2019). Bunlar, melez elektrikli araçlar, şarj edilebilir melez araçlar (Plug-in Hybrid Electric Vehicles–PHEV) ve şarj edilebilir elektrikli araçlar (Battery Electric Vehicles–BEV) olarak isimlendirilir.

2.2.1. Melez elektrikli araçlar

Melez elektrikli araçlar, içerisinde hem elektrik motoru hem de İYM barındıran araçlardır. Hem fosil yakıt hem de elektrik enerjisi araçta enerji kaynağı olarak kullanılır (Baygüneş, 2019). Belirli bir hız altında elektrik motoru ile çalışır. İYM ise hem yüksek bir hıza çıktığında çalışır, hem de hareketlendirdiği tekerlek ve fren sistemi bataryanın dolmasını sağlar (Sezen ve İşler, 2017). Melez elektrikli araçların, seri, paralel ve seri-paralel olmak üzere üç farklı türü vardır. Ortalama uzunluktaki bir menzile ve düşük karbon emisyonuna sahiptir fakat büyük bir pazara sahip değildir (Baygüneş, 2019).

Seri Melez Elektrikli Araçlar

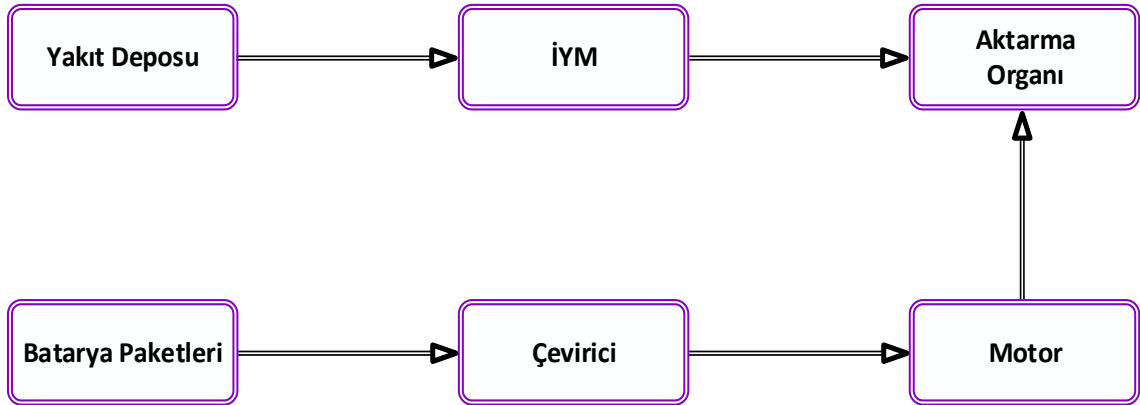
Seri melez elektrikli araçlarda İYM tahriki kullanılarak devreye girdirilen jeneratör sayesinde elektrik enerjisi üretilir. Bu elektrik enerjisi ise elektrik motorunu çalıştırır ve batarya gruplarını doldurur. Seri melez elektrik aracın temel yapısı Şekil 2.1’de gösterilmiştir (Baygüneş, 2019).



Şekil 2.1. Seri melez elektrikli aracın temel yapısı

Paralel Melez Elektrik Araçlar

Paralel melez elektrikli aracın tahrik sistemleri seri melez elektrikli araçlara göre karmaşıktır ve daha küçük kapasiteli piller kullanıldığından şarj çoğunlukla rejeneratif frenleme sırasında yapılır. Paralel melez elektrikli araçlarda seri melez elektrikli araçlara göre daha küçük elektrik motoru ve bataryaların kullanılması paralel melez elektrikli araçların fiyatının daha ucuz olmasına sebep olmuştur. Ayrıca paralel melez sisteminde İYM direkt olarak tekerleklerle bağlı olduğundan seri melez sistemine göre enerji dönüşüm verimi yüksektir (Koç, 2012). Paralel melez elektrik aracın temel yapısı Şekil 2.2’de gösterilmiştir.

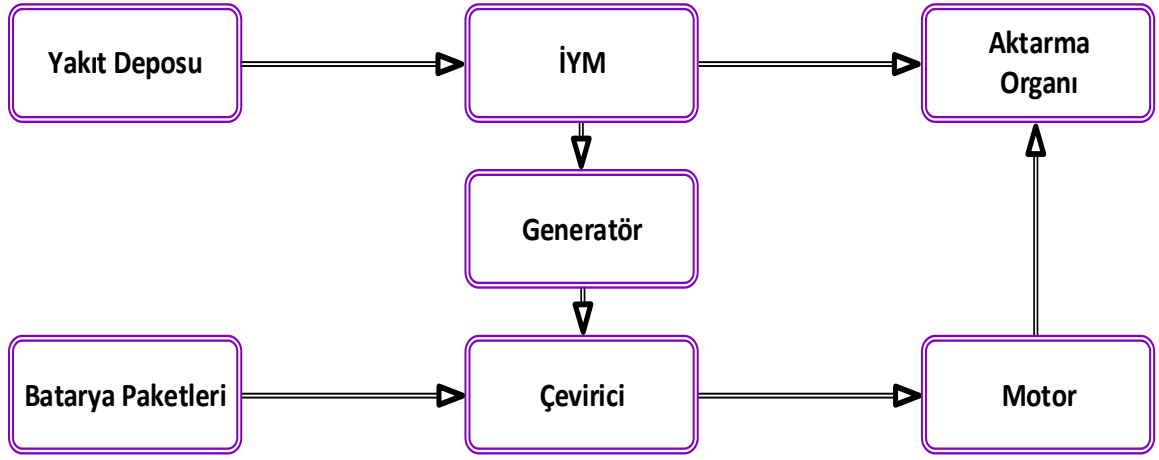


Şekil 2.2. Paralel melez elektrikli aracın temel yapısı

Seri/Paralel Melez Elektrikli Araçlar

Seri/Paralel melez elektrikli araç sistemi daha çok paralel melez sistemine benzemektedir. Bu sistemdeki amaç aracın en verimli noktada çalışmasını sağlamaktır (Koç, 2012). Aracın üstünlükleri arasında daha düşük bir yakıt tüketimini mümkün kılması

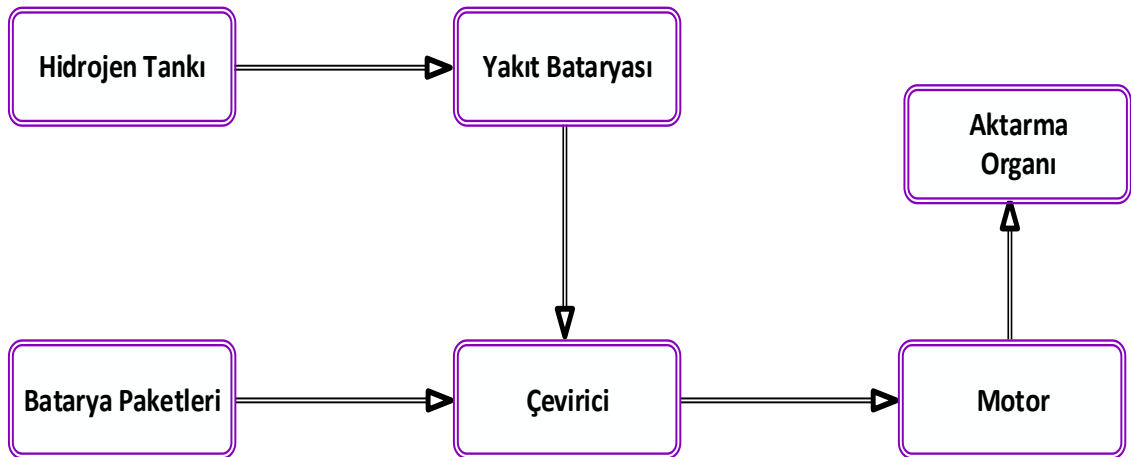
da sayılabilir, seri/paralel melez elektrik aracın temel yapısı Şekil 2.3'te gösterilmiştir (Baygüneş, 2019).



Şekil 2.3. Seri/Paralel melez elektrikli aracın temel yapısı

2.2.2. Yakıt bataryalı elektrikli araçlar

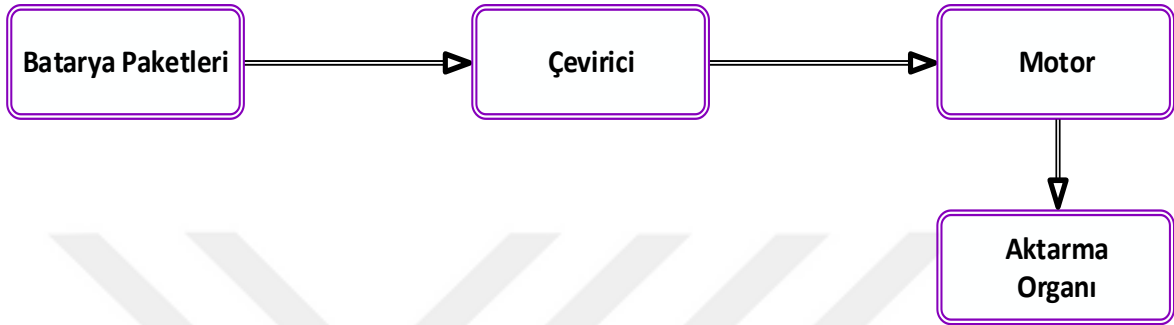
Yakıt bataryalı elektrikli araçların temel yapısı seri melez elektrikli araçların temel yapısına benzemektedir. Seri melez elektrikli araçlarda bulunan yakıt deposu yerine hidrojen tankı, içten yanmalı motor ve jeneratör yerinde yakıt bataryaları bulunmaktadır. Yakıt bataryalarından elde edilen elektrik enerjisi motoru çalıştırır ve batarya paketlerinin şarj edilmesini sağlar (Muratoğlu ve Alkaya, 2015). Son yıllarda yakıt bataryaları farklı prototip uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır. İlerleyen zamanlarda yakıt bataryalarının otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılabileceği düşünülmektedir yakıt bataryalı elektrik aracın temel yapısı Şekil 2.4'de gösterilmiştir (Baygüneş, 2019).



Şekil 2.4. Yakıt bataryalı elektrikli aracın temel yapısı

2.2.3. Batarya paketli elektrikli araçlar

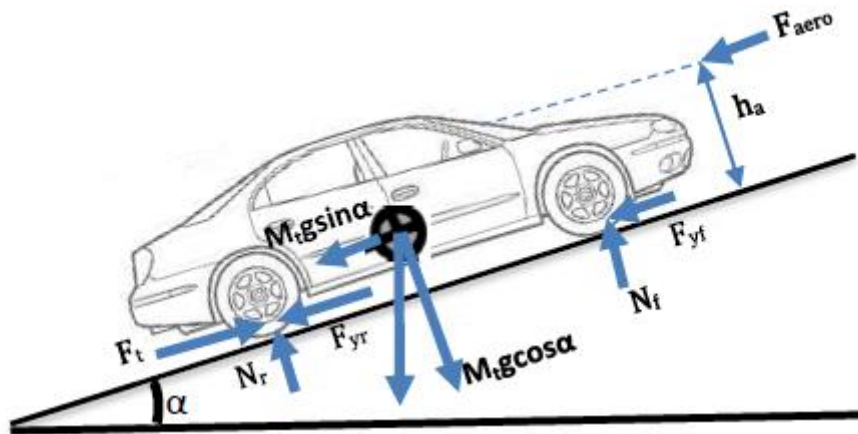
Batarya paketli elektrikli araçlarda, diğer elektrikli araçlardan farklı olarak yakıt deposu, İYM ve jeneratör bulunmamaktadır. Batarya paketli elektrikli araçların motorunu çalıştırmak için ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi sadece batarya paketlerinden elde edilmektedir. Batarya paketleri boşaldığında yeniden doldurulmaları gerekir (Muratoğlu ve Alkaya, 2015). Batarya paketli elektrik aracın temel yapısı Şekil 2.5’te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Batarya paketli elektrikli aracın temel yapısı

2.3. Elektrikli Araçların Matematiksel Modelleri

Elektrikli araçların, güç aktarım sisteminin modeli, enerji sistemleri modeli, taşıtın dinamik modeli, elektrik motoru ve geri kazanım frenleme modelinin matematiksel olarak ifadeleri aşağıda verilmiştir. Şekil 2.6’da elektrikli araca etkiyen kuvvetler gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Elektrikli araca etkiyen kuvvetler (Yıldız ve ark., 2019)

Eşitlik (2.1)’de toplam direnç kuvveti olan F_t ‘ye ait denklemler, aerodinamik kuvvetler (F_{aero}), eğim direnci ($M_t \times g \times \sin \alpha$), yuvarlanma direnci (F_{yr}) ve ivmelenme direnci kullanılarak oluşturulacaktır.

$$F_l = \rho \times c_d \times A \times \frac{V^2}{2} + M_t \times g \times \sin \alpha + M_t \times g \times k_y + M_t \times \frac{dV}{dt} \quad (2.1)$$

Buradaki ρ hava yoğunluğu, c_d sürüklenme katsayısı, A aerodinamik yüzey alanı, V aracın hızı, M_t aracın toplam kütlesi, g yerçekimi ivmesi, α yolun eğim açısıdır. Eşitlik (2.2)'de ise lastiğin yuvarlanma direnç katsayısı bulunabilir:

$$k_y = f_o + f_1 \times V + f_2 \times V^2 \quad (2.2)$$

Buradaki k_y lastiğin yuvarlanma direnç katsayısıdır. Tekerlek içi elektrik motoru kullanılan araç mimarisinin ihtiyaç duyduğu tahrik momenti Eşitlik (2.3)'teki gibi bulunabilir.

$$T = F_l \times R_t + I_\omega \times \frac{d\omega_{HM}}{dt} + I_{HM} \times \frac{d\omega_{HM}}{dt} + \beta_1 \times \omega_{HM} \quad (2.3)$$

Buradaki R_t tekerlek etkin yarıçapı, I_ω tekerleğin ataleti, I_{HM} tekerlek içi motorun dönen kütesinin ataleti, β_1 yatak sürtünmesi, ω_{HM} elektrik motorunun açısal hızıdır. Güç aktarmalı elektrikli aracın torku, Eşitlik (2.4)'teki gibi vites sisteminin atalet ve sürtünme değerleri kullanılarak hesaplanabilir.

$$T = \tau_D \times \tau_G \times F_l \times R_t \times \mu_t + I_\omega \times \frac{d\omega_1}{dt} + I_D \times \frac{d\omega_1}{dt} + I_G \times \frac{d\omega_G}{dt} + I_{EM} \times \frac{d\omega_{EM}}{dt} + \beta_2 \times \omega_1 + \beta_3 \times \omega_G + \beta_4 \times \omega_{EM} \quad (2.4)$$

Buradaki I_D diferansiyelin ataleti, I_G dişli kutusu ataleti, I_{EM} elektrik motorunun ataleti, β_2 tekerlek ve diferansiyele ait yatak sürtünmeleri katsayısı, β_3 dişli kutusuna ait yatak sürtünmeleri katsayısı, β_4 elektrik motoruna ait sürtünme katsayısı, τ_D diferansiyel kutusuna ait çevrim oranı, τ_G dişli kutusuna ait çevrim oranı, ω_1 , ω_G ve ω_{EM} sırasıyla diferansiyel, dişli kutusu, elektrik motoru açısal hız değerleridir. Eşitlik (2.5)'de motor akım değeri hesabı verilmiştir.

$$I = \frac{T \times \omega_{EM} + T \times \omega_{EM} \times (1 \mp \mu(T, \omega_{EM}))}{V_{yp}} \quad (2.5)$$

Burada verilen $\mu(T, \omega_{EM})$ motorun tork ve açısal hıza bağlı olan verimlilik katsayısıdır, V_{yp} yakıt piline ait gerilim değeridir. Elektrikli aracın geri kazanım frenleme ile geri kazanılan elektrik enerjisinin zamana bağlı gerilim değerini hesaplamak için Eşitlik (2.6)'daki diferansiyel denklem kullanılmaktadır.

$$\frac{dV_{sp}(t)}{dt} = \frac{1}{c} \times \frac{dQ}{dt} = \frac{1}{c} \times I \quad (2.6)$$

Burada verilen Q elektrik yükü, V_{sp} süper-kapasitör gerilimidir. Eşitlik (2.7)'de geri kazanım enerjisinin performansını kıyaslamak için kullanılacak süper-kapasitör parametresine ait olan şarj durumunun hesaplanması verilmiştir.

$$SOC = \frac{W}{W_{maks}} = \frac{V_{sp}^2}{V_{sp,maks}^2} \times 100 \quad (2.7)$$

Burada verilen W süper-kapasitörün elektriksel gücü, $V_{sp, maks}$ süper-kapasitöre ait en yüksek gerilim değeridir. Elektrikli araçların, elektriksel gücü hidrojen yakıt bataryasından sağlanmaktadır. İhtiyaç duyulan hidrojen yakıt tüketimi Eşitlik (2.8) ile hesaplanabilir:

$$HT = (V_{yp} \times I) \times k \quad (2.8)$$

Buradaki HT hidrojen yakıt tüketimi ve k güç ile hidrojen tüketimi arasındaki orandır. Yakıt bataryasına ait gerilim değeri Eşitlik (2.9) ile hesaplanır.

$$V_{yp} = E_{Nernst} - V_{akt} - V_{kons} - V_{omik} \quad (2.9)$$

Burada verilen E_{Nernst} açık devre hücre gerilimidir. E_{Nernst} , hücre sıcaklığının ve reaktant kısmi basınçlarının bir fonksiyonu olarak Eşitlik (2.10)'da gösterilmiştir.

$$E_{Nernst} = E_{01} - 0.85 \times 10^{-3} \times (T_{yp} - 298,15) + \frac{R \times T_{yp}}{2 \times F} \times \ln \left(\frac{P_{H_2} \times P_{O_2}^{0.5}}{P_{H_2O}} \right) \quad (2.10)$$

Buradaki T_{yp} hücre sıcaklığı, E_{01} referans gerilimi, R universal gaz sabiti, F ise Faraday sabitidir. P_{H_2} , P_{O_2} ve P_{H_2O} sırasıyla hidrojen, oksijen ve su buharı basıncı ve P'de yığın içindeki toplam basınçtır. Eşitlik (2.11) ile V_{akt} hesabı verilmiştir.

$$V_{akt} = \frac{R \times T_{yp}}{n \times \alpha \times F} \times \ln \left(\frac{I}{I_o} \right) \quad (2.11)$$

Yüksek akım yoğunluklarında, hücre potansiyeli kütle-geçiş sınırlamaları sebebiyle hızla azalır ve bu da doğrusal olmayan konsantrasyon aşırı gerilimi olarak tanımlanır, Eşitlik (2.12) ile hesaplanır.

$$V_{kons} = 1,1 \times 10^{-4} - 12 \times 10^{-6} \times (T_{yp} - 273) \times e^{(0.008) \times I} \quad (2.12)$$

Eşitlik (2.13)'de V_{omik} hesabı gösterilmiştir.

$$V_{omik} = I \times \frac{t_m}{\sigma} \quad (2.13)$$

Burada verilen t_m membran kalınlığı ve σ iletkenlik katsayısıdır (Yıldız ve ark., 2019).

2.4. Elektrikli Araçların Türkiye’deki Durumu

Dünya üzerinde önemi giderek artan elektrikli araçlar Türkiye otomotiv sektöründe de yerini almıştır. Fakat bazı engeller sebebiyle Türkiye trafiğinde çok fazla görünmemektedir. Bu engellerden bazıları sıralanacak olursa:

- Batarya ve elektrik depolama alanındaki engeller, maliyetin yüksek olması, hücre ve hammadde tedarikinin güç olması, şarj sürelerinin uzun olması, paket, boyut ve menzil açılarından sektörün beklenen düzeyde olmaması, batarya test ve güvenlik merkezinin bulunmaması, batarya ömrünün kısa olması ve garanti sürecinin netleştirilmemiş düzeyde olması başta olmak üzere diğer bazı engeller,
- Şarj istasyonları konusundaki engeller, denetleme kurallarını ve standardını belirleyecek otoritenin eksikliği ve yüksek yatırım maliyetleri başta olmak üzere diğer bazı engeller,
- Dijitalleşme ve tüketici kullanım alışkanlıkları konusundaki engeller, elektrikli araçlara yönelik bilgi eksikliği ve yüksek satın alma maliyetleri başta olmak üzere diğer bazı engeller,
- Şebeke alt yapısı konusundaki engeller, talebin artması durumunda şebekelerin buna tam anlamıyla hazır olmaması, elektrik şebeke yönetmeliğinin regülasyonlarla örtüşmemesi başta olmak üzere diğer bazı engeller sıralanabilir.

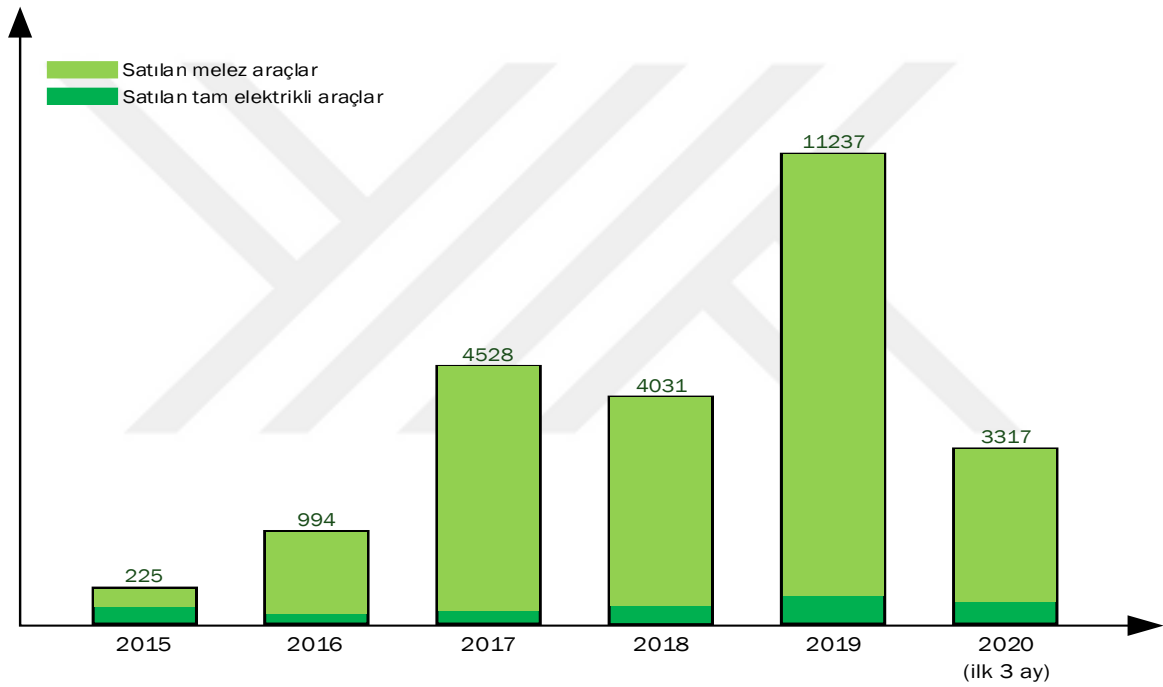
Bu engellere karşı Şubat 2020’de yayınlanan çalıştay raporunda kısa, orta ve uzun vadeli bazı çözüm önerileri sunulmuştur. Bunlardan bazıları:

- Maliyetlerin azaltılması adına bilgi birikiminin artırılması ve yerli projelere öncelik verilmesi
- Yapay zeka teknolojilerini geliştirmeye yönelik çalışmaların yürütülmesi
- Çevre bilincinin artırılmasına yönelik etkinliklerin desteklenmesi
- Şarj sürelerini geliştirme çalışmaları için güneş enerjisi santrali gibi yenilenebilir enerji kullanımının artırılması
- Elektrikli araç teknolojisi üzerine farklı eğitim seviyelerinde programların düzenlenmesi
- Şarj istasyonu haritalarının merkezileştirilmesi
- Toplu taşıma için şarj çözümlerinin oluşturulması,
- Merkezi ve yerel yönetim teşviklerinin sağlanması
- Tüm regülasyonların tamamlanması
- Kamu-özel sektör iş birliklerinin artırılması

- Kullanıcıların bilinçlendirilmesi
- Bölgesel olarak fosil yakıtlı araçların yasaklanması

Ve bunlar gibi çözüm önerileri ile ülkemizde elektrikli araç kullanımının yaygınlaşmasını engelleyen nedenler ortadan kaldırılarak önümüzdeki yıllarda trafikte içten yanmalı motora sahip araçların yerini tamamen elektrikli araçlar alacağı öngörülmektedir (Web6, 2020).

Türkiye’de resmi olarak satılan tamamen elektrikli araba model çeşidi çok fazla değildir fakat yapılan çalışmalar neticesinde ülkemiz yerli üretimde hedeflerine ulaşacaktır. Şekil 2.7’de Türkiye’de 2015 yılından 2020 yılının ilk üç ayına kadar satılan elektrikli ve melez araç satış rakamları gösterilmektedir. Satış rakamları göz önüne alındığında Türkiye trafiğinde elektrikli araçların yıldan yıla giderek artışlar yaşadığı görülmektedir.



Şekil 2.7. Türkiye tam elektrikli ve melez araç satış rakamları (Web5, 2020)

3. BATARYALAR VE YÖNETİM SİSTEMLERİ

BYS, batarya paketlerinin yönetilmesi, izlenmesi ve korunmasıyla optimum ve güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlamak için melez ve tam elektrikli araçların vazgeçilmez bir kısmıdır. BYS, gerilim, sıcaklık, SOC, SOH ve şarj ve deşarj akımlarının kritik sınırlarını belirleyerek, bataryaların ömrünü uzatmayı amaçlamaktadır (Cuma ve Koroglu, 2014).

Bu bölümde elektrikli araçlarda kullanılan batarya çeşitleri, BYS'nin temel bileşenleri, BYS türleri ve BYS görevleri hakkında bilgiler verilmiştir.

3.1. Bataryalar

Bataryalar elektrik enerjisini kimyasal reaksiyon sonucu ortaya çıkan enerji olarak depolayabilen birimlerdir (Avgın, 2012). Elektrik enerjisinin depolanmasını gerektiren taşınabilir elektronik cihazlar, telekomünikasyon altyapıları, yenilenebilir enerji santralleri ve elektrikli araçlar gibi birçok alanda kullanılabilir (Gül, 2018).

Bataryalar birim hücrelerden meydana gelirler ve bu hücrelerden bir ya da birden fazlası seri bağlanarak modülleri oluştururlar. Batarya grubu ise, seri veya paralel olarak bağlanmış batarya modüllerinin bir araya gelmesinden oluşur.

Batarya ve batarya kapasitesi ile ilgili genel ifadelerden bazıları şu şekildedir (Avgın, 2012):

- Hücre: Depolanmış kimyasal enerjiden elektriksel enerjiyi üretebilen veya elektriksel enerjiyi, kimyasal enerji halinde biriktirebilen en küçük birimdir. Seperatör ve iki elektrottan (pozitif ve negatif elektrotlar) oluşmaktadır.
- Enerji yoğunluğu [Wh/l]: Bataryanın hacimsel olarak enerji biriktirme yoğunluğunu gösterir. Enerji yoğunluğu birim hacimdeki watt-saat şeklinde ifade edilir.
- Güç Yoğunluğu [W/l]: Bir bataryanın hacimsel olarak güç biriktirme yoğunluğunu gösterir. Güç yoğunluğu birim hacimdeki watt cinsinden ifade edilir.
- Anma kapasitesi: Amper-saat cinsinden, toplam şarjı gösteren ve üretici tarafından gösterilen bataryanın kapasite [Ah] değeri olarak adlandırılır.
- Özgül Enerji [Wh/kg]: Birim kütle başına enerji biriktirme yoğunluğunu gösteren birim olarak adlandırılır.

- Özgöl Güç [W/kg]: Birim kütle başına güç yoğunluğunu gösteren birim olarak adlandırılır.
- C-oranı: Ah olarak anma kapasitesinde gösterilen şarj veya deşarj akım değerine denir. Önüne getirilen çarpan ile daha yüksek ya da daha düşük akım değerlerini ifade eder.
- Çevrim ömrü: Belirli bir performans değeri baz alınarak (genelde %80 Ah anma kapasite değeri) tanımlı koşullarda bir batarya ya da hücrenin şarj ve deşarj edilme sayısını gösterir.
- Kesme gerilimi: Batarya veya hücrenin deşarjının bittiği uç gerilime verilen isimdir.

Elektrikli araçlar, spor otomobillerden kamyonlara, golf araçlarından otobüslere ve trenlere kadar sıralanabilir. Böylece çok farklı karakteristik özelliklerde elektrikli araç bataryası ihtiyacı doğmaktadır. Bir elektrikli araç bataryasının karakteristik özellikleri aşağıda gösterilmiştir:

- Nominal gerilim
- En yüksek gerilim
- En düşük gerilim
- Nominal şarj/deşarj akımı
- En yüksek şarj akımı
- En yüksek deşarj akımı
- Kapasite
- Çalışma sıcaklığı
- Çevrim sayısı
- Ağırlık ve hacim

Bu karakteristik özellikler, bir elektrikli aracın hız, hızlanma, menzil, şarj süresi, ağırlığı gibi önemli özellikleri direkt olarak etkilemektedir. Bunun sonucu olarak bataryanın elektrikli aracın performansındaki yeri oldukça büyüktür (Gül, 2018).

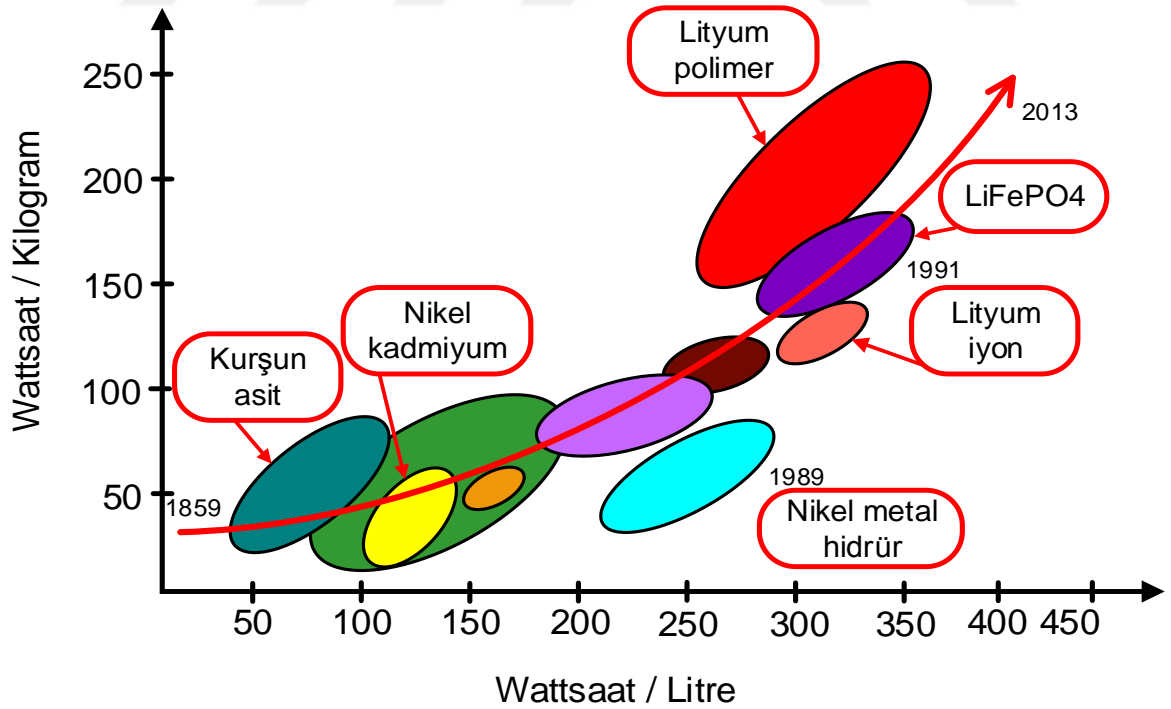
3.2. Elektrikli Araçlarda Kullanılan Batarya Çeşitleri

Elektrikli araçların bataryaları son yıllarda büyük gelişmeler yaşadı. Batarya teknolojisi, bataryalarda yüksek enerji yoğunluğu, yüksek güç yoğunluğu, düşük maliyet, güvenlik ve dayanıklılık gibi özellikler için gün geçtikçe ilerlemektedir. Çizelge 3.1’de

elektrikli araçlarda kullanılan batarya teknolojilerinin özellikleri gösterilmektedir (Yong ve ark., 2015). Şekil 3.1’de batarya türlerinin enerji yoğunlukları gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Elektrikli araçlarda kullanılan farklı batarya türleri ve özellikleri (Yong ve ark., 2015’ten değiştirilerek)

Batarya Çeşitleri	Nominal Gerilim (V)	Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Çevrim Ömrü	Hafıza Etkisi	Çalışma Sıcaklığı (C°)
Kurşun-Asit	2	35	1000	Yok	-15, +50
Nikel Kadmiyum	1.2	50-80	2000	Var	-20, +50
Nikel Metal Hidrat	1.2	70-95	<3000	Nadir	-20, +60
Lityum İyon Batarya	3.6	118-250	2000	Yok	-20, +60
Lityum İyon Polimer	3.7	130-225	>1200	Yok	-20, +60
Lityum Sülfür	2.5	350-650	3000	Yok	-60, +60
Lityum Demir Fosfat	3.2	120	>2000	Yok	-45, +70



Şekil 3.1. Batarya tipine göre enerji yoğunlukları (Kılıç, 2016)

3.2.1. Kurşun-Asit bataryalar (Pb)

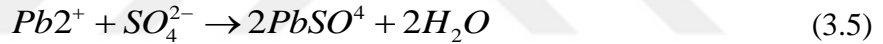
Elektrikli araçlarda kullanılan ilk batarya teknolojisi kurşun-asit bataryalardır. Kurşun asidin adı elektrik üretmek için kullanılan kurşun elektrotları ve asit birleşimlerinden gelir. Kurşun-asit batarya olgunlaşmış bir teknolojidir ve ucuzdur. Bununla birlikte kurşun-asit bataryanın düşük enerji yoğunluğu, çevre dostu olmayışı gibi çok az dezavantajları da vardır. Kurşun-asit batarya zamanla yerini nikel bazlı batarya ile değiştirmiştir (Yong ve ark., 2015). Kurşun-asit batarya örneği Şekil 3.2’de verilmiştir. Genel olarak kurşun asit batarya Eşitlikleri (3.1), (3.2), (3.3), (3.4) ve (3.5) ile aşağıda verilmiştir. Anot reaksiyonu;



Katot reaksiyonu;



Reaksiyon sonu oluşan durum;



Şekil 3.2. Kurşun-asit batarya (Web3, 2017)

3.2.2. Nikel kadmiyum batarya (Ni-Cd)

Nikel kadmiyum bataryalar maliyet bakımından uygundur ve emniyetlidir. Nikel kadmiyum bataryalar kurşun-asit bataryaya kıyasla daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Zayıf şarj ve deşarj verimliliği, yüksek kendi kendine deşarj oranı, soğuk

havalarda düşük performansa sahip olması gibi dezavantajlara sahiptir. Nikel kadmiyum bataryanın hafıza etkisi, yüksek şarj ve deşarj oranı gerektiren elektrikli araçlar uygulamaları için uygun değildir (Yong ve ark., 2015). Nikel kadmiyum batarya denklemi Eşitlik (3.6)'da gösterilmiştir.



3.2.3. Nikel metal hidrat batarya (Ni-MH)

Nikel metal hidrat bataryalar, nikel kadmiyum bataryalar ile karşılaştırıldığında enerji yoğunluğu daha fazladır, nikel metal hidrat bataryalar, nikel kadmiyum bataryaların aynı zamanda geliştirilmiş halidir denebilir. Zamanla nikel metal hidrat bataryalar, nikel kadmiyum bataryaların yerini almıştır. Nikel metal hidrat bataryalar daha uzun şarj süresi gerektirir ve batarya kullanılmadığında bile kendi kendine deşarj olabilme gibi dezavantajlara sahiptir (Yong ve ark., 2015). Nikel metal hidrit batarya Eşitlik (3.7) ile verilmiştir.



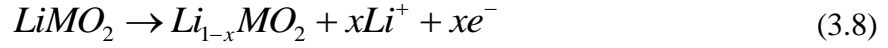
3.2.4. Lityum iyon batarya (Li-ion)

Lityum iyon bataryalar, yüksek enerji ve güç yoğunluğunun eşsiz bir birleşimine sahiptir ve bu da taşınabilir elektronikler, elektrikli el aletleri ve melez/tam elektrikli araçlar için tercih edilen teknoloji olmasını sağlar. Lityum iyon bataryalar sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltır. Lityum iyon bataryaların yüksek enerji verimliliği, rüzgâr, güneş, jeotermal ve diğer yenilenebilir kaynaklardan toplanan enerjinin kalitesini artırır, böylece daha yaygın kullanımlarına ve enerji sürdürülebilir ekonomisine katkıda bulunur. Bu nedenle, lityum iyon bataryalar hem endüstri hem de devlet finansman kuruluşlarından yoğun ilgi görmektedir, son yıllarda bu alandaki araştırmalar da artmıştır (Nitta ve ark., 2015).

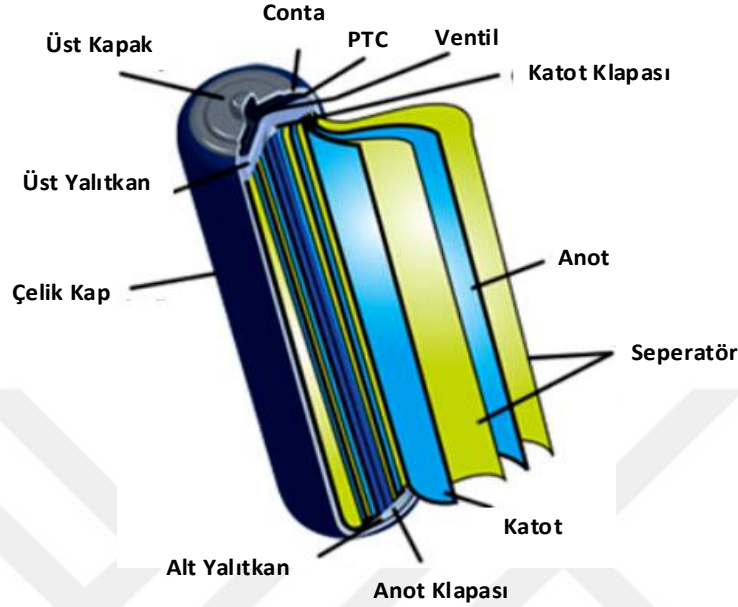
Lityum iyon bataryalar, nikel bazlı bataryalar ile karşılaştırıldığında enerji yoğunluğu daha fazladır ve anma gerilimi daha yüksektir (Yong ve ark., 2015).

Genel olarak kullanılan oksitler, lityum nikel oksit ($LiNiO_2$), lityum kobalt oksit ($LiCoO_2$) ve lityum mangan oksit ($LiMn_2O_2$) olarak sıralanabilir (Baygüneş, 2019). Şekil 3.3'te bir lityum iyon batarya kesiti örneği verilmiştir. Elektrotlarda meydana gelen elektrokimyasal reaksiyonlar Eşitlik (3.8) ve Eşitlik (3.9)'da gösterilmiştir.

Katot reaksiyonu;



Anot reaksiyonu;



Şekil 3.3. Lityum iyon batarya kesiti (Web2, 2012)

Lityum iyon bataryaların genel özellikleri

- Yüksek enerji yoğunluğu
- Yüksek çevrim ömrü
- Fiziksel olarak dayanıklıdır
- Yüksek şarj verimi
- Ortalama ömrü 5 yıldır

Lityum iyon bataryaların üstünlükleri

Lityum iyon bataryaların diğer bataryalara göre bazı üstünlükleri vardır (Nitta ve ark., 2015).

- Lityum, herhangi bir elementin en düşük azaltma potansiyeline sahiptir, bu da lityum bazlı bataryaların mümkün olan en yüksek hücre potansiyeline sahip olmasını sağlar.
- Lityum en hafif üçüncü elementtir ve herhangi bir yüklü iyonun en küçük iyonik yarıçaplarından birine sahiptir. Bu faktörler lityum bazlı bataryaların yüksek gravimetrik ve hacimsel kapasiteye ve güç yoğunluğuna sahip olmasını sağlar.

- Mutlak miktarlar açısından, dünya kabuğunda bulunan lityum miktarı, küresel bir otomobil filosuna güç sağlamak için yeterlidir.
- Lityum iyon bataryalar portatif elektrokimyasal enerji depolamada ilk tercih edilen kaynak olduğundan, performanslarını artırmak uygulamalarını büyük ölçüde genişletebilir ve enerji depolamasına bağlı yeni teknolojiler sağlayabilir.
- Yeni materyaller ve stratejiler bulundukça, lityum iyon bataryaların gelecek yıllarda yaşamlarımız üzerine şüphesiz daha fazla etkisi olacaktır.
- En az bakım gerektiren bataryalardır.

Lityum iyon bataryaların zayıf noktaları

Lityum iyon bataryaların diğer bataryalara göre bazı zayıf noktaları vardır (Nitta ve ark., 2015).

- Geleceğe bakıldığında lityum iyon bataryaların dünyanın uzun vadede taşınabilir enerji depolama ihtiyacına güç verebileceğinden şüphe duyulmaktadır. Çünkü bazı uygulamalar için (nakliye ve şebeke gibi) lityum iyon bataryalar şu anda maliyetlidir ve lityum sıkıntısı ve lityum iyon bataryalarda hâlihazırda kullanılan bazı geçiş metalleri bir gün sorun haline gelebilir.
- Artan fiyatlar, lityum iyon bataryalar için sorun yaratabilir, çünkü maliyet, yenilenebilir enerji uygulamalarının genişlemesini engelleyen en önemli faktördür.
- Yapı olarak kırılgandır.
- Diğer bataryalarda olduğu gibi, lityum iyon bataryalarda yaşlanma etkisi gösterir.
- Sürekli kontrol edilmesi gerekir.

3.2.5. Lityum iyon polimer batarya (LiPo)

Lityum iyon polimer bataryalar, lityum iyon bataryalar ile pozitif ve negatif elektrot malzemeleri bakımından benzer özellikler göstermektedir, aralarındaki en büyük fark ise lityum iyon polimer bataryalarda elektrolit olarak polimer malzemenin yer almasıdır. Lityum iyon polimer bataryalar kendi kendini deşarjı en düşük bataryalardır (Avgın, 2012). Lityum iyon bataryalarda polimer elektrolit kullanımı ise bataryaların hızlı, kolay ve çeşitli şekillerde üretiminin yapılmasını sağlamıştır (Baygüneş, 2019). Lityum iyon polimer bataryaya Şekil 3.4 ile örnek verilmiştir. Lityum iyon polimer batarya reaksiyonları Eşitliği (3.10)'de verilmiştir.





Şekil 3.4. Lityum iyon polimer batarya (Web4, 2018)

3.2.6. Lityum demir fosfat batarya (LiFePO_4)

Lityum demir fosfat bataryalar daha yüksek güç yoğunluğu, daha fazla çevrim oranı ve daha iyi güvenlik sağlayan bir batarya türüdür. Ancak lityum demir fosfat bataryalar, lityum iyon bataryalar ile karşılaştırıldıklarında daha düşük enerji yoğunluğuna sahip olması bu bataryaların dezavantajıdır (Yong ve ark., 2015). Şekil 3.5’de lityum demir fosfat batarya örneği gösterilmiştir. Lityum demir fosfat için şarj ve deşarj reaksiyonları Eşitlikleri (3.11) ve (3.12)’de verilmiştir.

Deşarj denklemi;

$$E_{Deşarj} = E_{02} - K \times \frac{Q}{Q - it} \times i^* - K \times \frac{Q}{Q - it} \times it + Ae^{-\beta it} \quad (3.11)$$

Şarj denklemi;

$$E_{Şarj} = E_{02} - K \times \frac{Q}{it + 0.1 \times Q} \times i^* - K \times \frac{Q}{Q - it} \times it + Ae^{-\beta it} \quad (3.12)$$

Buradaki E_{02} sabit voltaj gerilimini, K polarizasyon sabitini, i^* düşük frekansları akım dinamiğini, i batarya akımını, Q maksimum pil kapasitesini, A eksponansiyel voltajı, β eksponansiyel kapasiteyi ve it çıkarılan kapasiteyi ifade eder.

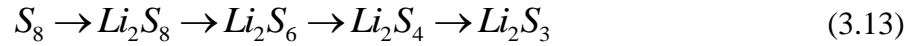


Şekil 3.5. LiFePO4 batarya (Kılıç, 2016)

3.2.7. Lityum sülfür batarya (Li-S)

Lityum sülfür bataryaların enerji yoğunluğu fazladır, yüksek deşarj oranı ve kısa bir yaşam döngüsü vardır (Yong ve ark., 2015). Lityum sülfür bataryalar farklı uygulama alanlarında yaygın olarak kullanılan lityum iyon ve lityum polimer bataryalar ile karşılaştırıldığında hiçbir güvenlik sorunu yaşamazlar (Ekici, 2019). Lityum sülfür piller için reaksiyonlar Eşitlik (3.13) ve (3.14) ile aşağıda verilmiştir.

Deşarj eşitliği;



Şarj eşitliği;



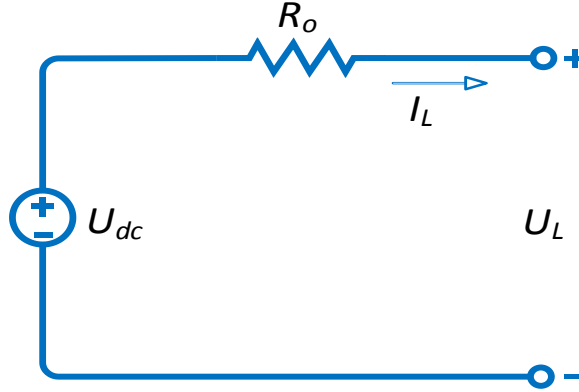
3.3. Lityum İyon Bataryalar İçin Eşdeğer Devre Modelleri

Elektrikli araç uygulamalarında lityum iyon bataryaların kullanımını iyileştirmek için farklı eşdeğer devre modellerinin değerlendirmeleri ve karşılaştırmaları burada sunulmaktadır. Bataryanın dinamik özelliklerine ve çalışma prensiplerine dayanarak, eşdeğer devre modeli oluşturmak için dirençler, kapasitörler ve voltaj kaynakları kullanılarak geliştirilmişlerdir. Elektrikli araç çalışmalarında rint modeli, RC modeli, thevenin modeli veya PNGV modeli yaygın olarak kullanılmaktadır (He ve ark., 2011).

3.3.1. Rint modeli

Rint modeli, Şekil 3.6'da ve Eşitlik (3.15)'de gösterildiği gibi U_{dc} gerilim kaynağı ve R_O direncinden meydana gelmiştir. U_{dc} ideal bir voltaj kaynağı batarya için açık devre

voltajını tanımlar. Hem direnç R_o hem de açık devre gerilimi U_{dc} , SOC, SOH ve sıcaklık verileridir. I_L , deşarjda pozitif ve negatif değerlerde yük akımıdır, şarj sırasında ise U_L terminal voltajıdır (He ve ark., 2011).

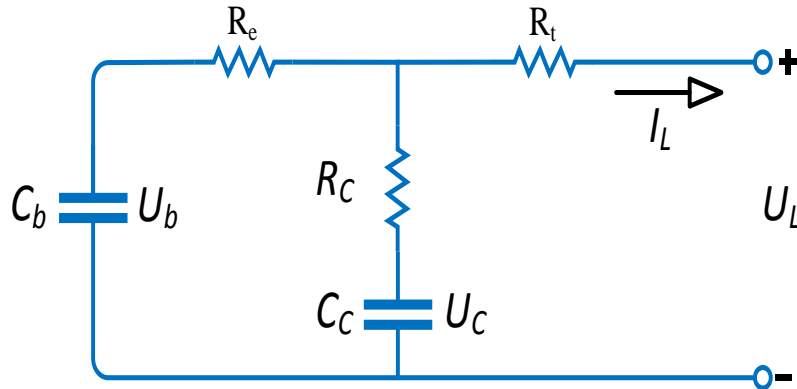


Şekil 3.6. Rint modelinin şematik diyagramı (He ve ark., 2011)

$$U_L = U_{dc} - I_L \times R_o \quad (3.15)$$

3.3.2. RC modeli

RC model, ünlü SAFT Batarya Şirketi tarafından tasarlanmıştır. Şekil 3.7’de gösterildiği gibi iki kapasitör (C_c , C_b) ve üç dirençten (R_t , R_e , R_c) oluşmaktadır. Çok büyük bir kapasiteye sahip olan C_b kondansatörü, bir bataryanın kimyasal olarak yükü depolayabilme kapasitesini temsil eder. SOC, toplam kapasitördeki voltaj ile belirlenebilir. Dirençler R_t , R_e , R_c sırasıyla terminal direnci, uç direnci ve kapasitör direnci olarak adlandırılır. Devrenin elektriksel davranışı Eşitlik (3.16) ve Eşitlik (3.17)’de ifade edilebilir (He ve ark., 2011).



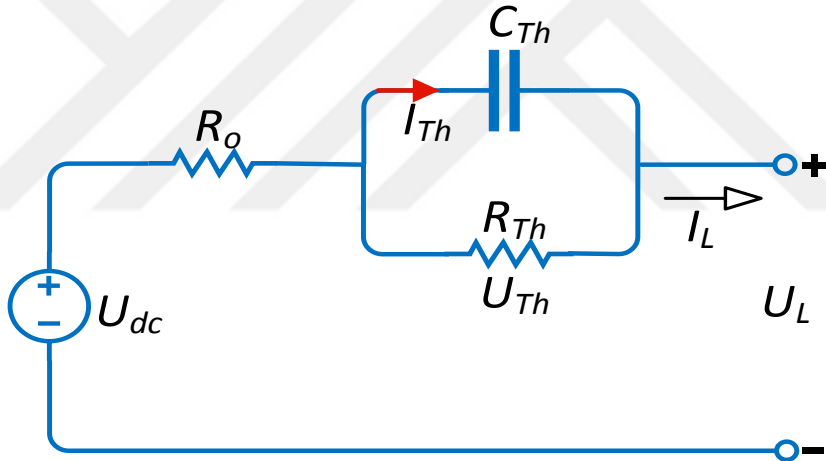
Şekil 3.7. RC modelinin şematik diyagramı (He ve ark., 2011)

$$\begin{bmatrix} U_b \\ U_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-1}{C_b(R_e + R_c)} & \frac{1}{C_b(R_e + R_c)} \\ \frac{1}{C_c(R_e + R_c)} & \frac{-1}{C_c(R_e + R_c)} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} U_b \\ U_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{-R_c}{C_b(R_e + R_c)} \\ \frac{-R_e}{C_c(R_e + R_c)} \end{bmatrix} \times [I_L] \quad (3.16)$$

$$[U_L] = \begin{bmatrix} \frac{R_c}{(R_e + R_c)} & \frac{R_e}{(R_e + R_c)} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} U_b \\ U_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -R_t - \frac{R_e \times R_c}{(R_e + R_c)} \end{bmatrix} \times [I_L] \quad (3.17)$$

3.3.3. Thevenin modeli

Thevenin modeli, rint modelini temel alarak seri olarak paralel bir RC ağı bağlar. Devre Şekil 3.8'de gösterildiği gibi, açık devre gerilimi U_{OC} , iç dirençler ve eşdeğer kapasiteler dahil üç bölümden oluşur. İç dirençler arasında omik direnç R_O ve polarizasyon direnci R_{TH} bulunur. Eşdeğer kapasitans C_{TH} , şarj etme ve boşaltma sırasında geçici yanıtı tanımlamak için kullanılır. I_{TH} , C_{TH} 'nin çıkış akımıdır. Thevenin modelinin elektriksel davranışı Eşitlik (3.18) ile ifade edilebilir (He ve ark., 2011).



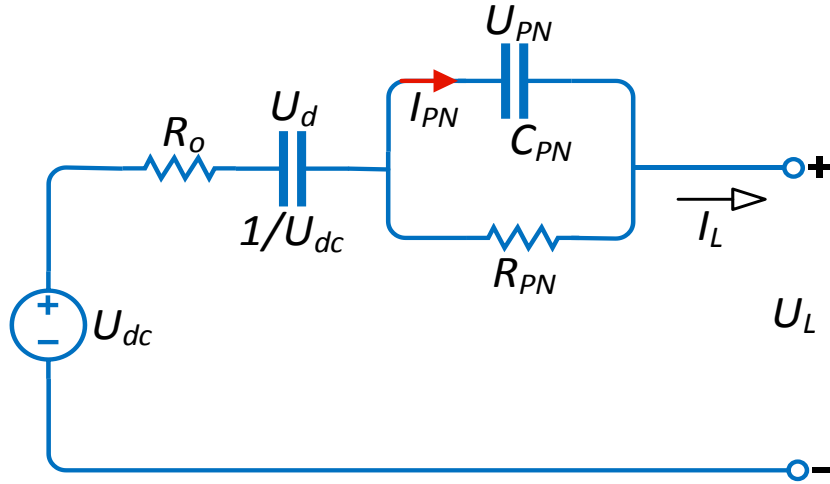
Şekil 3.8. Thevenin modelinin şematik diyagramı (He ve ark., 2011)

$$U_{TH} = -\frac{U_{Th}}{R_{Th} \times C_{Th}} + \frac{I_L}{C_{Th}} \quad (3.18)$$

$$U_L = U_{dc} - U_{Th} - I_L \times R_O$$

3.3.4. PNGV modeli

PNGV modeli Şekil 3.9'da gösterildiği gibi thevenin modeline bir kapasitör eklenerek elde dlebilir. I_{PN} , C_{PN} 'nin çıkış akımıdır. PNGV modelinin elektriksel davranışı Eşitlik (3.19) ile ifade edilebilir (He ve ark., 2011).

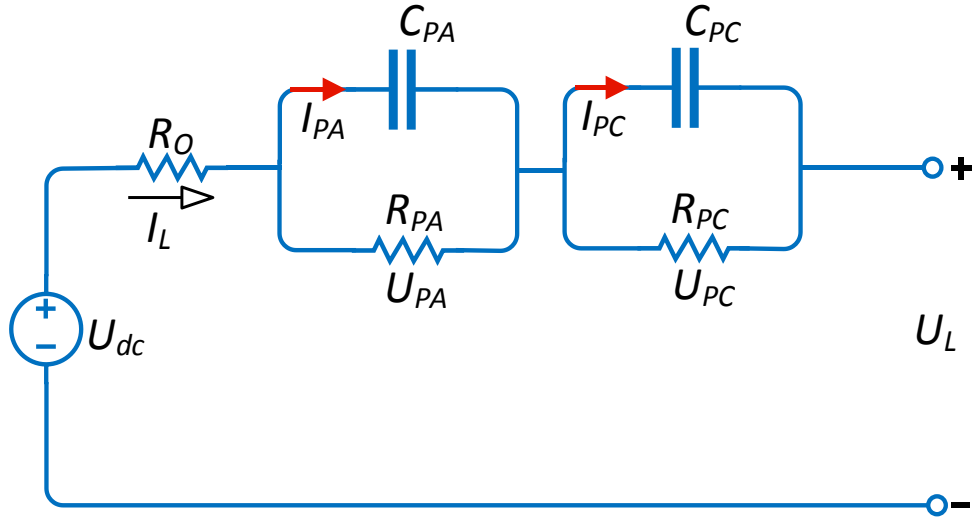


Şekil 3.9. PNGV modelinin şematik diyagramı (He ve ark., 2011)

$$\left\{ \begin{array}{l} U_d = U_{dc} \times I_L \\ U_{PN} = -\frac{U_{PN}}{R_{PN} \times C_{PN}} + \frac{I_L}{C_{PN}} \\ U_L = U_{dc} - U_d - U_{PN} - I_L \times R_o \end{array} \right\} \quad (3.19)$$

3.3.5. DP modeli

Geliştirilmiş devre modeli, çift polarizasyon modeli olarak tanımlanan Şekil 3.10'da sunulmaktadır. Bir lityum iyon güç bataryasının test analizine dayanarak, polarizasyon görülebilir ve polarizasyon karakteristiği thevenin devresi tarafından simüle edilebilir. DP modeli üç bölümden oluşur. İlki, açık devre gerilimi U_{OC} ; ikincisi, iç dirençler, ohmik direnç R_o ve R_{PA} 'yı temsil eden polarizasyon dirençleri gibi ve R_{PC} konsantrasyon polarizasyonunu karakterize eden direnç; son olarak ise C_{PA} ve C_{PC} gibi etkili kapasiteler, bataryadan güç aktarımı sırasında geçici yanıtı karakterize etmek için kullanılır. U_{PA} ve U_{PC} sırasıyla C_{PA} ve C_{PC} 'deki voltajlardır. I_{PA} ve I_{PC} sırasıyla, C_{PA} ve C_{PC} 'nin çıkış akımlarıdır. Devrenin elektriksel davranışı Eşitlik (3.20) ile ifade edilebilir (He ve ark., 2011).



Şekil 3.10. DP modelinin şematik diyagramı (He ve ark., 2011)

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{PA} = -\frac{U_{PA}}{R_{PA} \times C_{PA}} + \frac{I_L}{C_{PA}} \\ U_{PC} = -\frac{U_{PC}}{R_{PC} \times C_{PC}} + \frac{I_L}{C_{PC}} \\ U_L = U_{dc} - U_{PA} - U_{PC} - I_L \times R_o \end{array} \right. \quad (3.20)$$

3.4. Batarya Yönetim Sistemi Türleri

BYS türleri, nasıl kurulduklarına bağlı olarak birbirlerinden ayrılabilir. YYS türlerinde önemli olan, güvenilirlik, kurulum ve bakım kolaylığı, ölçüm hassasiyeti ve maliyetidir. YYS temel olarak dört farklı şekilde tasarlanabilir (Andrea, 2010):

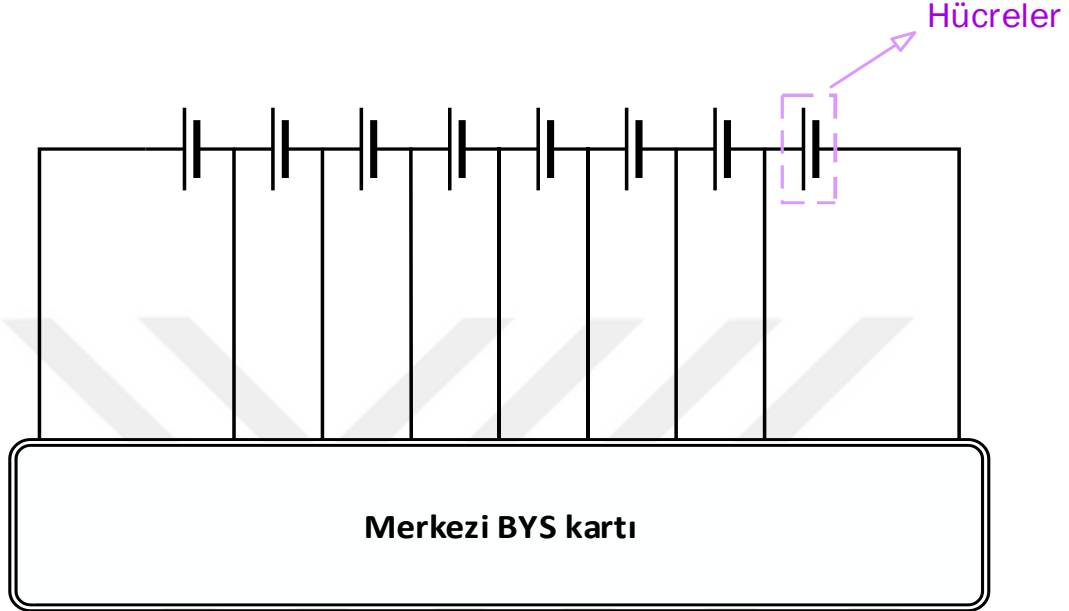
- Merkezi batarya yönetim sistemi
- Modüler batarya yönetim sistemi
- Ana kart-yardımcı kart batarya yönetim sistemi
- Dağıtılmış batarya yönetim sistemi

3.4.1. Merkezi YYS

Şekil 3.11’de sistem yapısı gösterilen merkezi YYS’nin özellikleri şu şekilde sıralanabilir (Andrea, 2010; Baygüneş, 2019):

- Bütün hücreler tek bir YYS kartına bağlıdır.
- Kompakttır.
- En ucuz yaklaşımdır.

- Sorun giderme veya onarım gerekirse, yalnızca tek bir parçayı değiştirmek daha kolay olduğundan, bakım ve onarım açısından kolay bir türdür.
- Tek bir işlemci olduğu için ek olarak bir haberleşme birimine ihtiyaç duyulmaz.
- Bu yaklaşımın kullanılabilmesi için kullanılan işlemcinin çok sayıda sayısal çıkışının olmasına ihtiyaç vardır.

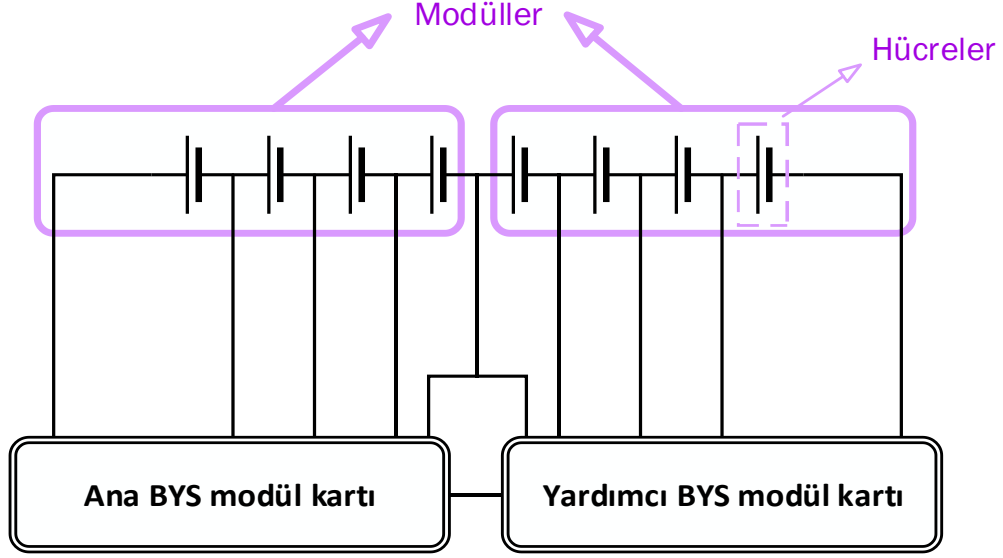


Şekil 3.11. Merkezi BYS (Web9, 2017)

3.4.2. Modüler BYS

Şekil 3.12’de sistem yapısı gösterilen modüler BYS’in özellikleri şu şekilde sıralanabilir (Andrea, 2010):

- Birden fazla özdeş modüle ayrıldığı için merkezi BYS’ye göre maliyeti yüksektir.
- Hücrelere giden kabloların kontrol edilmesi daha kolaydır.
- Daha fazla BYS modülü eklenerek daha büyük paketlere genişletmek kolaydır.
- Her modül sabit sayıda hücre için tasarlanmıştır.
- Modüller arası haberleşme bağlantıları olduğu için fazladan kablo gerektirir.

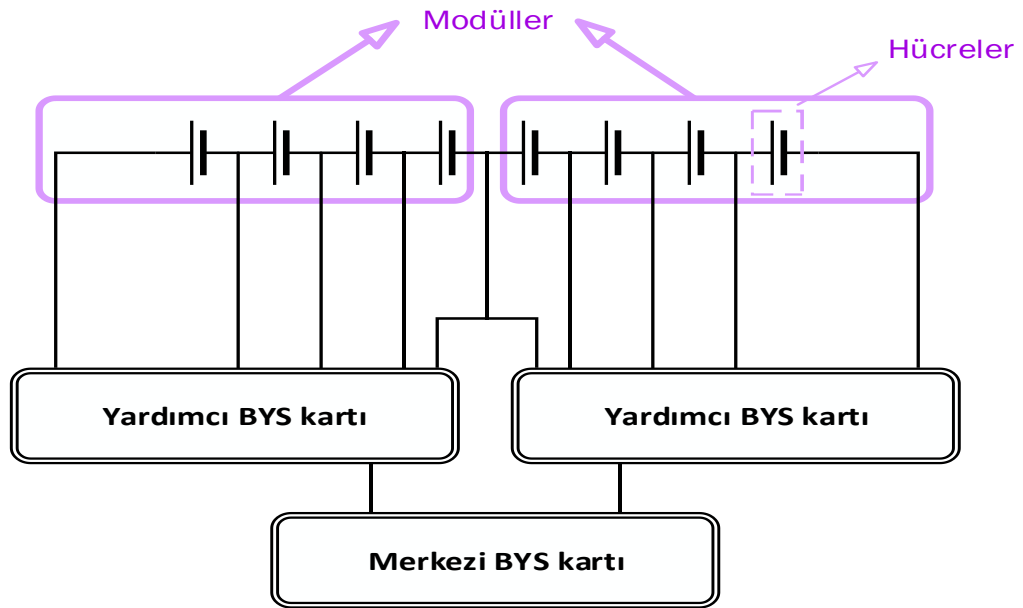


Şekil 3.12. Modüler BYS (Web9, 2017)

3.4.3. Ana kart-Yardımcı kart BYS

Şekil 3.13’de sistem yapısı gösterilen ana kart-yardımcı kart BYS’nin özellikleri şu şekilde sıralanabilir (Andrea, 2010):

- BYS’nin bu türünde iki farklı BYS kartı kullanılır. Bunlar elektronik kart (yardımcı kart) ve merkezi kontrol kartı (ana kart)’dır.
- Yardımcı kartta ölçümler yapılır, verileri toplayıp işleme ve haberleşme ana kart ile yapılır.
- Ana kart-yardımcı kart BYS, modüler BYS’ye avantaj ve dezavantaj yönünden benzesede maliyet yönünden modüler BYS’ye göre daha hesaplıdır.

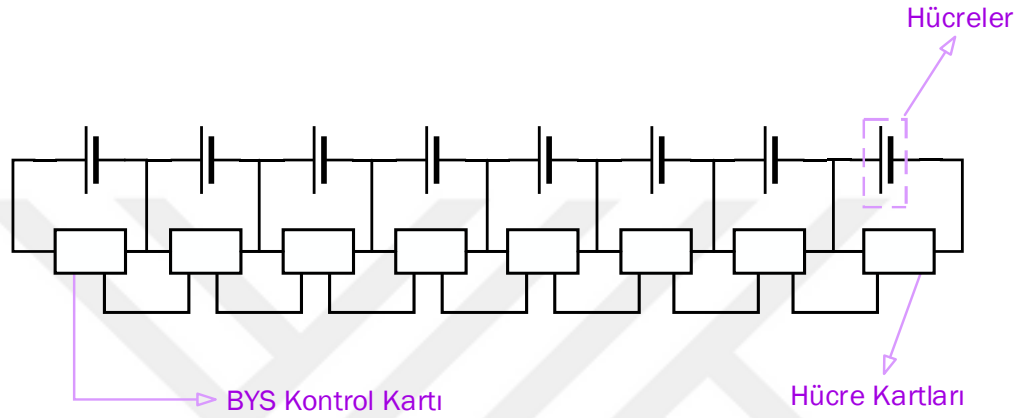


Şekil 3.13. Ana kart-Yardımcı kart BYS (Web9, 2017)

3.4.4. Dağıtılmış BYS

Şekil 3.14’te sistem yapısı gösterilen dağıtılmış BYS’nin özellikleri şu şekilde sıralanabilir (Andrea, 2010):

- Her bir hücreye bir yardımcı kart bağlandığı için dağıtılmış BYS diğer BYS türlerinden önemli ölçüde farklıdır.
- Hücreler ayrı ayrı ölçüldüğü için ölçüm doğruluğu yüksektir.
- Çok fazla bağlantı olduğundan kablo sayısı ve eleman sayısı fazladır.



Şekil 3.14. Dağıtılmış BYS (Web9, 2017)

3.4.5. Batarya yönetim sistemi türlerinin karşılaştırılması

Batarya yönetim sistemi türlerinin karşılaştırılması Çizelge 3.2’de verilmiştir.

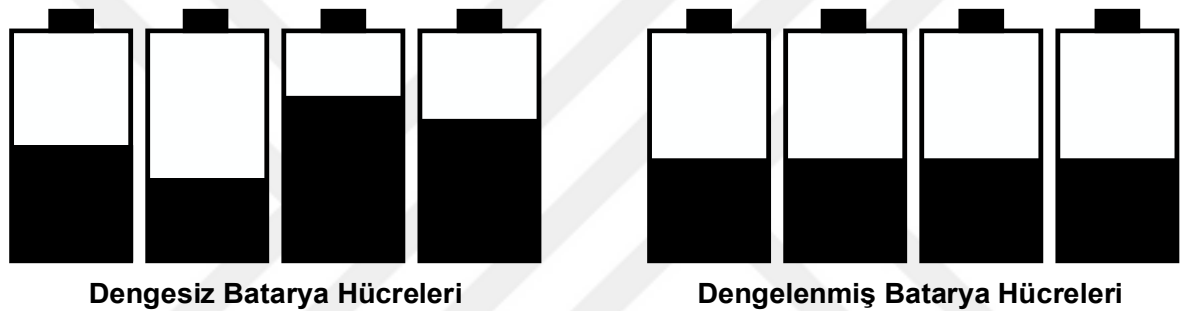
Çizelge 3.2. Elektrikli araçlarda kullanılan BYS türlerinin karşılaştırılması (Andrea, 2010)

BYS Türleri	Ölçüm Kalitesi	Gürültü	Güvenlik	Malzeme Maliyeti	Montaj Maliyeti	Bakım Maliyeti
Merkezi	++	+++	+	+	++	+
Modüler	++	+++	+	+++	++	+
Ana kart-Yardımcı kart	++	+++	+	+++	++	+
Dağıtılmış	+++	++	+++	+++	+	++

(+++ : iyi ++ : orta + : kötü)

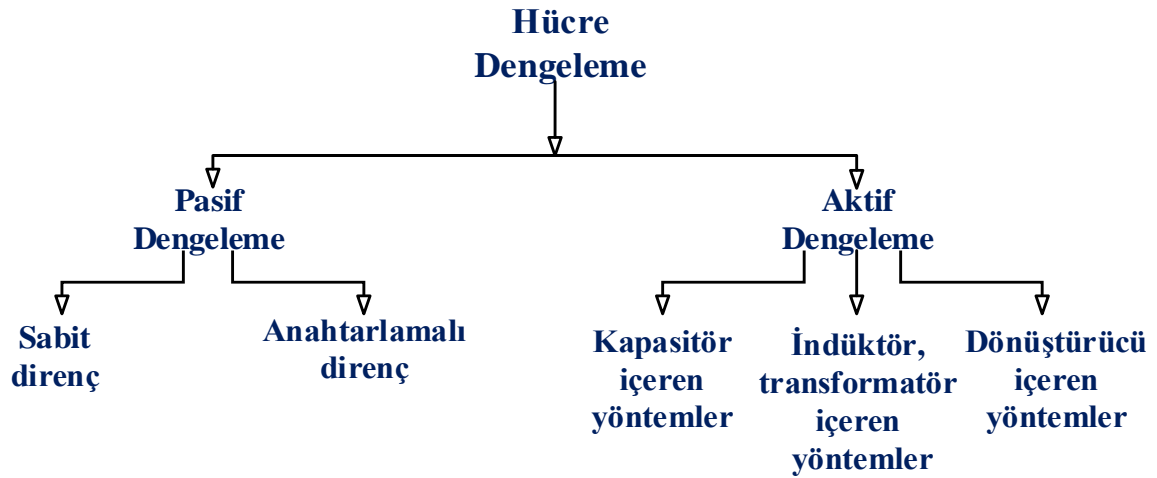
3.5. Batarya Hücre Gerilimleri Dengeleme Yöntemleri

Bataryayı oluşturan hücreler özdeş değildir, bu yüzden BYS'nin en önemli görevlerinden biri hücre gerilimlerini dengeleme sistemidir. Hücre gerilim dengelenmesi olmadan hücrelerin her biri farklı bir gerilim değerine sahip olur (Daowd ve ark., 2011). Seri bağlanmış hücreler farklı kapasiteye sahip olduklarında, şarj sırasında kapasitesi en az olan hücre en önce şarjı bitirme gerilimine ulaştığı için diğer hücrelerin kapasite değerlerinin dolması beklenmeden şarj işlemini bitirmek zorunda kalınır. Aynı şekilde deşarj sırasında ise, deşarjı bitirme gerilimine ulaşan hücrenin ve içinde enerji olan diğer hücrelerin dahi deşarj işlemi bitirilir (Gül, 2018). Şekil 3.15'de hücre gerilimleri dengeleme örneği verilmiştir.



Şekil 3.15. Hücre gerilimleri dengeleme (Baygüneş, 2019)

Bu durumun önüne geçmek için batarya yönetim sistemleri hücre gerilim dengeleme görevini gerçekleştirir. Bunun için hücre gerilim dengeleme yöntemleri önerilmiştir. Bu yöntemler Şekil 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.16. Batarya hücre dengeleme yöntemi türleri (Web9, 2017'den değiştirilerek)

Dengeleme türleri pasif dengeleme ve aktif dengelenme olmak üzere ikiye ayrılır. Pasif dengeleme yöntemleri, sabit direnç ve anahtarlama direnç olmak üzere iki gruba ayrılır; aktif dengeleme yöntemleri ise, kapasitör içeren yöntemler, indüktör, transformatör içeren yöntemler ve dönüştürücü içeren yöntemler olmak üzere üç gruba ayrılır.

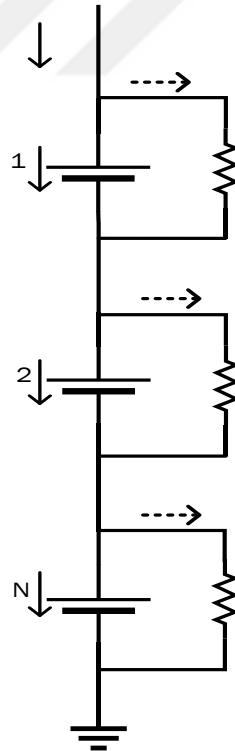
3.5.1. Pasif dengeleme

- Pasif hücre dengeleme kolay bir yöntemdir ve az sayıda eleman ile kurulumu yapılabilir.
- Fazla enerji ısıya dönüştürülerek harcanır, fakat bu istenilmeyen bir durumdur.
- Verimi düşüktür.

Sabit Dirençli Pasif Dengeleme

Sabit dirençli pasif dengeleme yönteminin devre şeması Şekil 3.17’de gösterilmiştir.

- Kullanılan en basit hücre gerilimi dengeleme yöntemidir.
- Kurulumu kolaydır.
- Sürekli olarak hücrelerden akım çeker.
- Verimsizdir.

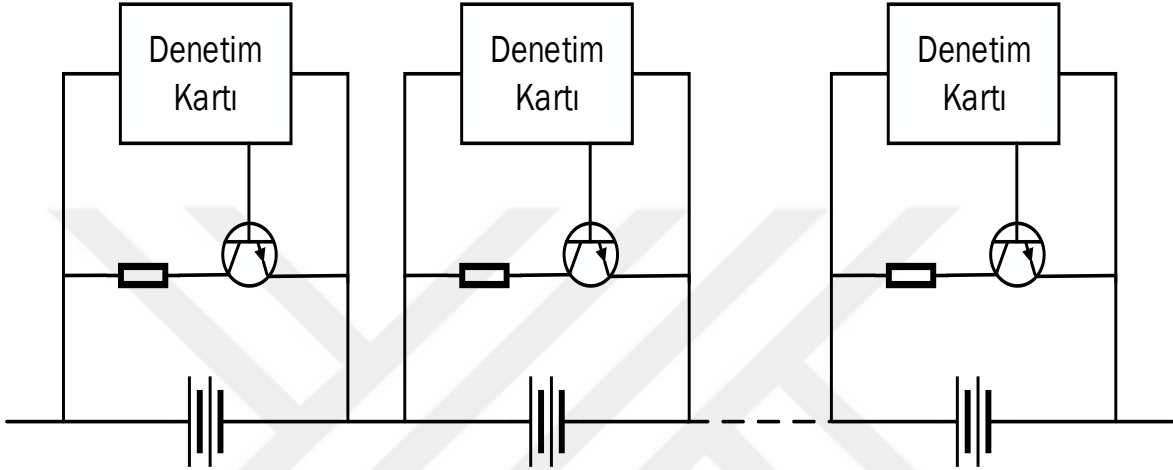


Şekil 3.17. Sabit dirençli pasif dengeleme yönteminin devre şeması (Web9, 2017)

Anahtarlamalı Direnç İle Dengeleme

Anahtarlamalı direnç pasif dengeleme yönteminin devre şeması Şekil 3.18’da gösterilmiştir.

- Verimi düşüktür.
- Her bir hücre ayrı ayrı kontrol edilebilir.
- Bir anahtar, bir direnç ve bir kontrolcü içerir.
- Aktif dengeleme türlerine göre dengeleme süresi uzundur.
- Kullanılan en yaygın hücre gerilimi dengeleme yöntemidir.



Şekil 3.18. Anahtarlamalı direnç pasif dengeleme yönteminin devre şeması (Turgut, 2018)

3.5.2. Aktif dengeleme

Aktif dengelemenin bazı özellikleri aşağıda verilmiştir (Rahimi-Eichi ve ark., 2013).

- Pasif hücre dengelemesine göre daha karmaşıktır.
- Maliyeti fazladır.
- Verimlilik seviyesi çok yüksektir.
- Hücre gerilimini dengelemek için hücreler arası gerilim transferi yapılır.

Kapasitör İçeren Yöntemler

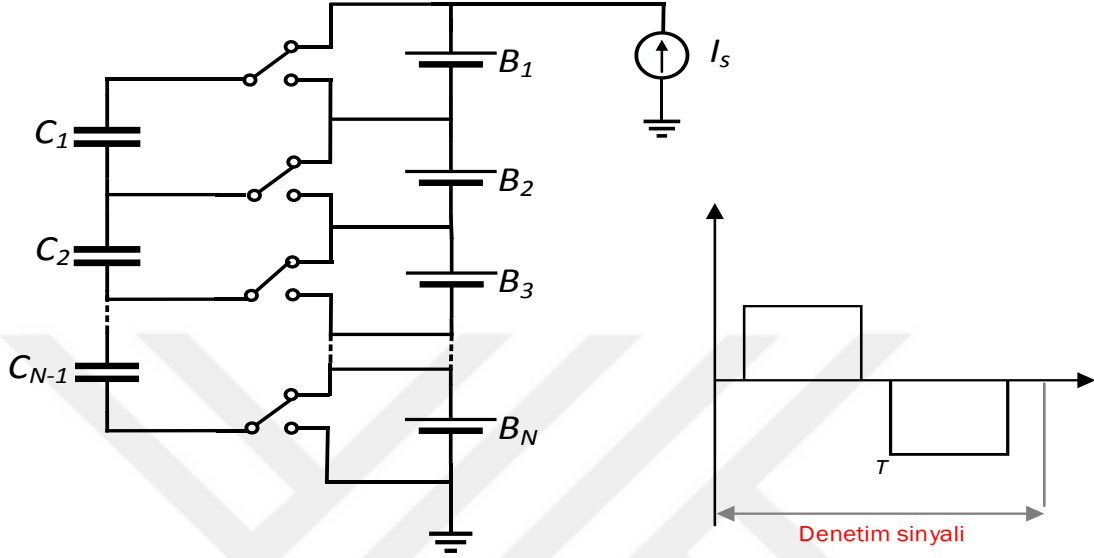
Kapasitif yöntemlerde enerjisi fazla olan hücre tarafından kondansatör şarj edilir ve enerjisi az olan hücreye aktarılarak dengeleme işlemi yapılır. Kapasitif yöntemler indüktör içeren dengeleme sistemine göre daha yavaştır (Daowd ve ark., 2011).

Anahtarlamalı kapasitör yöntemi

Anahtarlamalı kapasitör yönteminin devre şeması Şekil 3.19 ile gösterilmiştir.

- n sayıda hücre dengelemesi için $(n-1)$ tane kapasitör ve $2n$ tane anahtar gereklidir.
- Şarj ve deşarj işlemlerinde çalışabilir.

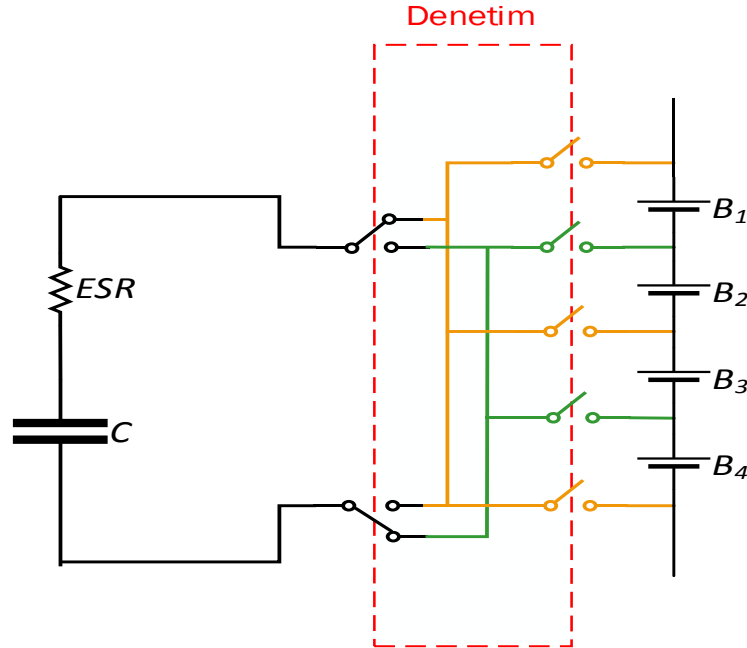
- Kontrolü basittir.
- Anahtarlama kapasitör yönteminin diğer aktif dengeleme yöntemlerine göre dengeleme işlemi daha uzun sürer.
- İçinde ayrıca, akıllı kontrole ihtiyaç duymaz.
- Verim yüksektir.



Şekil 3.19. Anahtarlama kapasitör yönteminin devre şeması (Daowd ve ark., 2011)

Tekli anahtarlama kapasitör yöntemi

Tekli anahtarlama kapasitör yönteminin devre şeması Şekil 3.20’de verilmiştir.



Şekil 3.20. Tekli anahtarlama kapasitör yönteminin devre şeması (Daowd ve ark., 2011)

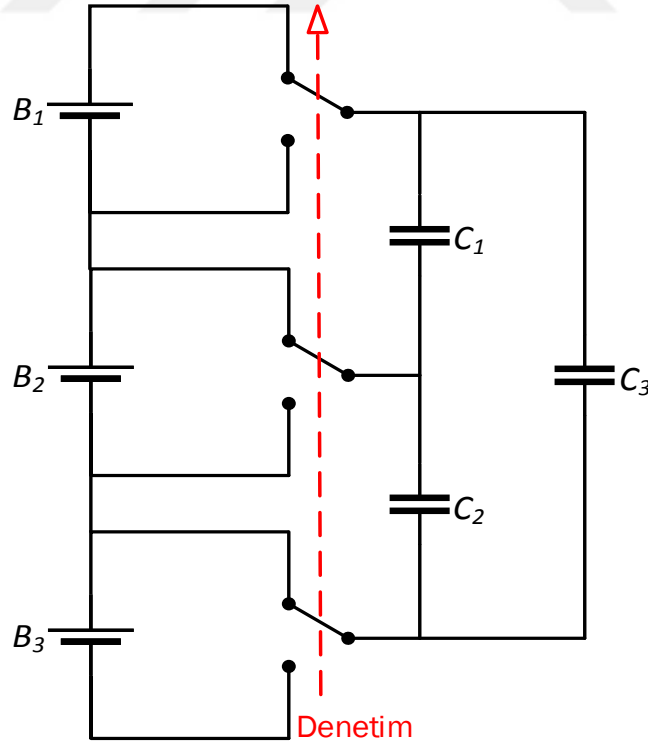
Bu yöntemin genel özellikleri ise aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- n tane hücreyi dengelemek için bir kapasitör ve $(n+5)$ tane anahtar kullanılır.
- Verim yüksektir.
- Şarj ve deşarj işlemlerinde çalışabilir.
- Basit bir kontrol stratejisi kullanılır.
- Kontrol eden denetleyici en dolu ve en boş hücreyi seçer ve kapasitör ilk en dolu hücreye paralel bağlanırken sonrasında en boş hücreye paralel bağlanarak dengeleme işlemi yapılır.
- Dengeleme hızı yüksektir.

Çift katlı anahtarlama kapasitör

Çift katlı anahtarlama kapasitör yönteminin devre şeması Şekil 3.21’de gösterilmiştir.

- Anahtarlama kapasitör yönteminin bir türevidir.
- n sayıda hücreyi dengelemek için n sayıda kapasitör ve $2n$ sayıda anahtara ihtiyaç vardır.
- Verim yüksektir
- Şarj ve deşarj işlemleri sırasında çalışabilir.
- Dengeleme hızı yüksektir.
- Bu yöntemin avantajı, ikinci kapasitör katının dengeleme süresini azaltmasıdır.

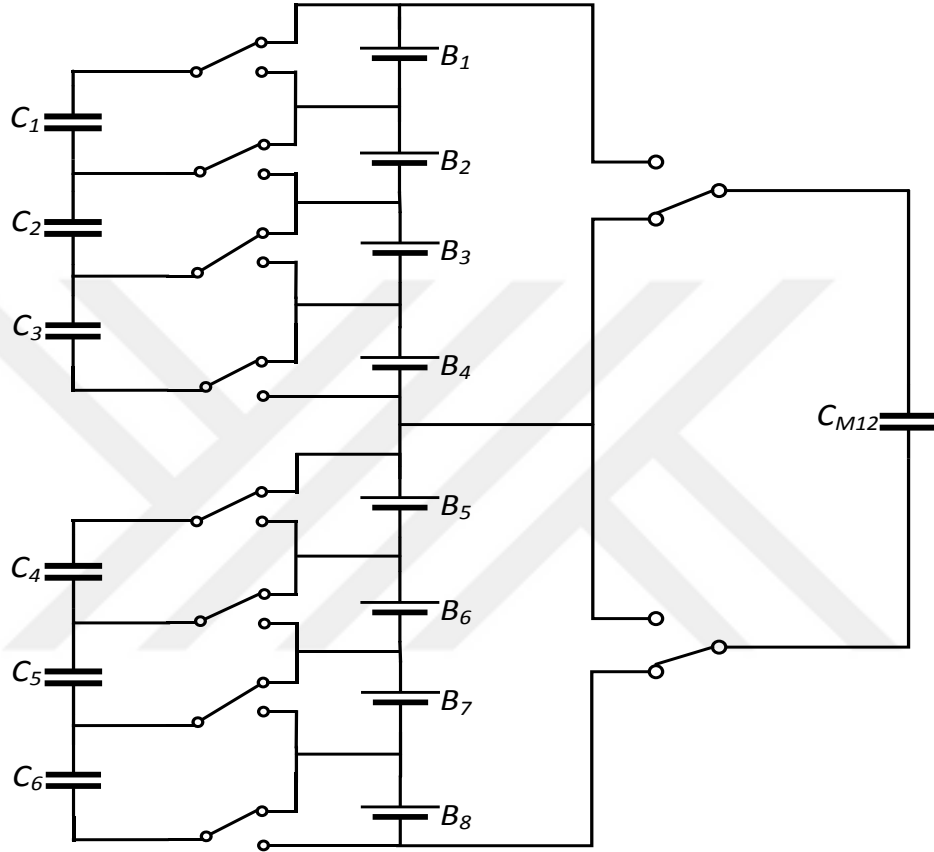


Şekil 3.21. Çift katlı anahtarlama kapasitör yönteminin devre şeması (Daowd ve ark., 2011)

Modülerize anahtarlama kapasitör

Modülerize anahtarlama kapasitör yönteminin devre şeması Şekil 3.22 ile verilmiştir.

- Dengeleme hızı yüksektir.
- Verim yüksektir.
- Anahtar sayısı fazla olduğu için kurulumu zordur.
- Dengeleme işlemi ayrı kapasitör grupları üzerinden yapılmaktadır.



Şekil 3.22. Modülerize anahtarlama kapasitör yönteminin devre şeması (Daowd ve ark., 2011)

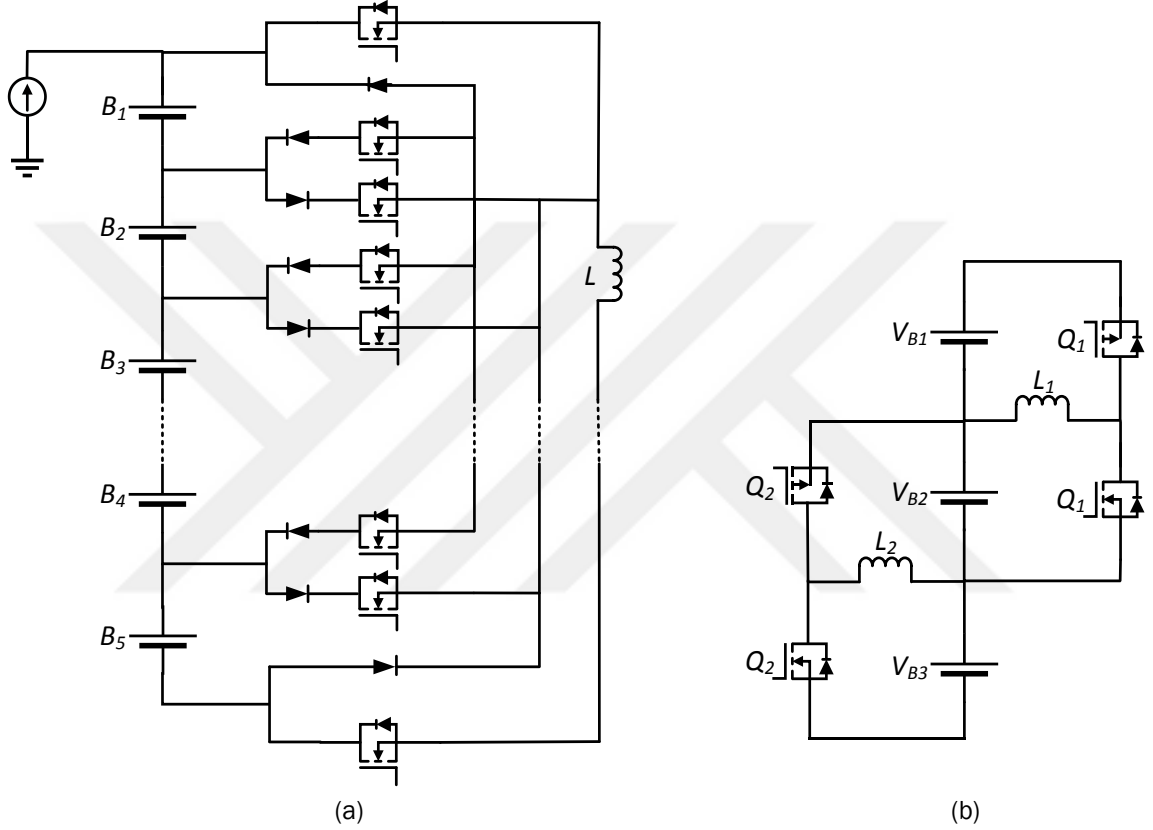
İndüktör Ve Transformatör İçeren Yöntemler

Enerjiyi başka bir hücreye veya hücre grubuna taşımak için indüktör veya transformatörlerin kullanılması yöntemidir. Dengeleme süresi oldukça azdır yani hücre dengeleme hızı yüksektir. Dezavantajları ise, nispeten yüksek maliyet ve transformatörler için manyetik kayıplardır. Ayrıca anahtarlama frekansı da oldukça yüksektir (Daowd ve ark., 2011).

Tek / Çok anahtarlı indüktör

Tek/Çok anahtarlı indüktör yönteminin devre şemaları Şekil 3.23’de verilmiştir.

- Hücreler arası enerji aktarımı için bir indüktans veya $(n-1)$ sayıda indüktans kullanılır.
- Tek indüktanslı sistem daha hızlıdır.
- Kontrolcü tarafından komşu hücreler arası gerilim farkı algılanır.
- Dolu hücredeki fazla enerji indüktöre aktarılır ve anahtar kesimdeyken boş hücreye aktarılarak dengeleme işlemi tamamlanır.
- Çok fazla anahtar olduğu için kurulumu zordur.



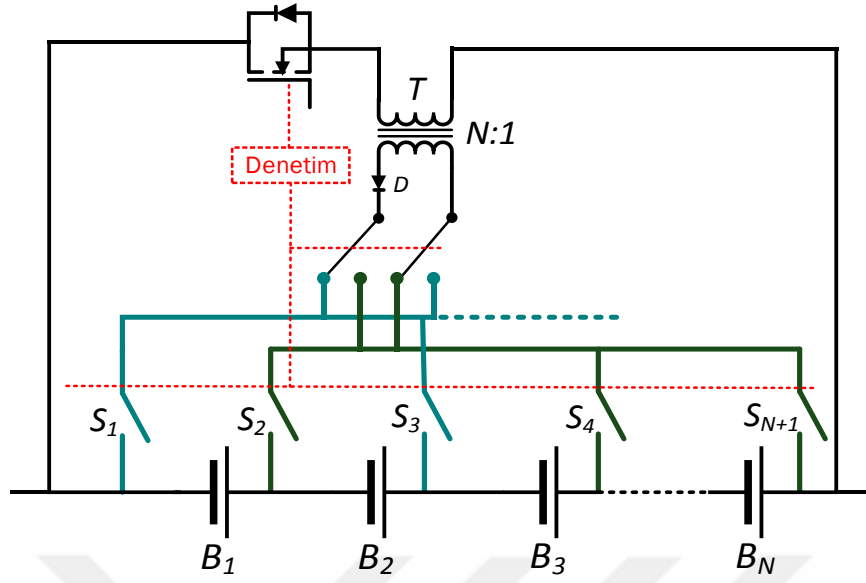
Şekil 3.23. Tek/Çok anahtarlı indüktör yönteminin devre şemaları (a) Tek indüktör (b) Çok İndüktör (Daowd ve ark., 2011)

Tek sarımlı transformatör

Şekil 3.24’de tek sarımlı transformatör yönteminin devre şeması gösterilmiştir.

- Bu yöntem, hücre dengelemesi için iki tekniğe sahiptir. İlki “paketten hücreye”, ikincisi “hücreden pakete” olarak isimlendirilir.
- Anahtar iletimdeyken transformatörün bir sargısında enerji depolanır, anahtar kesimdeyken depolanan enerji paketteki en zayıf hücreye aktarılarak hücre dengeleme işlemi gerçekleştirilir.
- Verim yüksektir.
- Dengeleme hızı yüksektir.

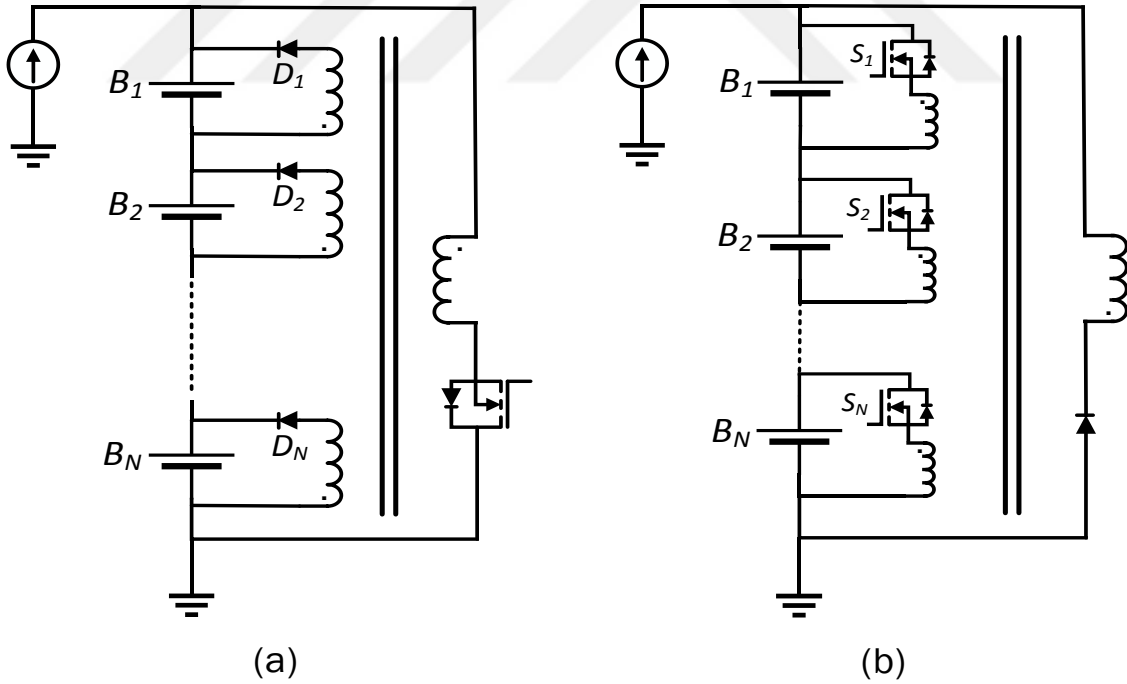
- Çok fazla anahtar olduğu için kurulumu zordur.



Şekil 3.24. Tek sarımlı transformatör yönteminin devre şeması (Daowd ve ark., 2011)

Çok sarımlı transformatör

Çok sarımlı transformatör yönteminin devre şemaları Şekil 3.25’da gösterilmiştir.



Şekil 3.25. Çok sarımlı transformatör yönteminin devre şemaları (a) Geri dönüşlü yapısı (b) İleri yönlü yapısı (Daowd ve ark., 2011)

Bu devrenin özellikleri şu şekilde özetlenmiştir:

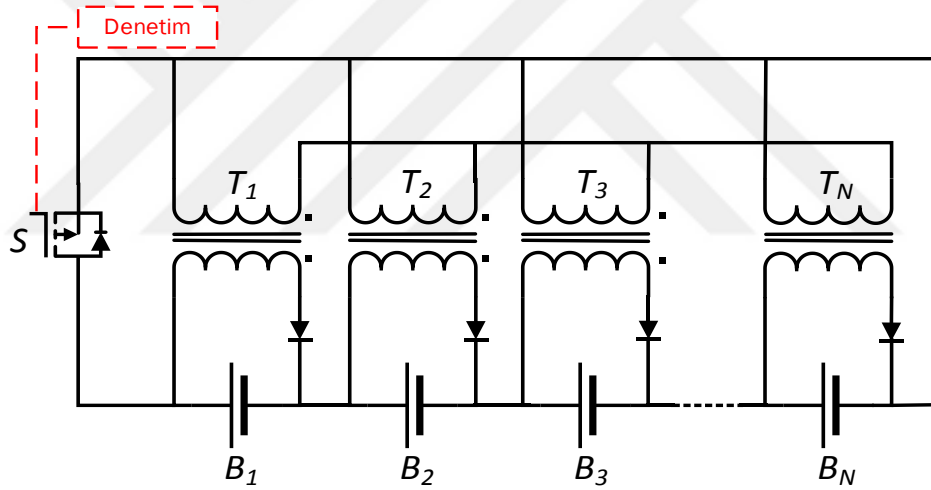
- Tek bir manyetik çekirdeğe sahiptir.
- Geri dönüşlü yapısı ve ileri yönlü yapısı olmak üzere iki devre yapısı vardır.

- Geri dönüşlü yapısında bir anahtar vardır, ileri yönlü yapısında ise hücre sayısı kadar anahtar vardır.
- Maliyeti yüksektir.
- Verimi yüksektir.
- Dengeleme hızı yüksektir.

Çoklu transformatör

Çoklu transformatör yönteminin devre şeması Şekil 3.26 ile verilmiştir.

- Devrede hücre sayısı kadar transformatör vardır.
- Maliyeti yüksektir.
- Verim yüksektir.
- Dengeleme süresi kısadır.
- Anahtarlar sabit bir çalışma oranında çalışmaktadır.
- Devamlı bir enerji aktarımı vardır.



Şekil 3.26. Çoklu transformatör yönteminin devre şeması (Daowd ve ark., 2011)

Dönüştürücü İçeren Yöntemler

- Bu yöntemde birbirlerine seri bağlı her bir hücreye farklı birer dönüştürücü bağlanarak dengeleme işlemi gerçekleştirilir.
- Verimi genelde oldukça yüksektir.
- Anahtar sayısı fazla olduğu için kurulumu zordur.
- Düşürücü, yükseltici, düşürücü-yükseltici, flyback, rezonant, rampa gibi alt uygulama örnekleri vardır.

3.5.3. Pasif dengeleme ve aktif dengeleme yöntemlerinin karşılaştırılması

Pasif dengeleme ve aktif dengeleme yöntemlerinin karşılaştırılması Çizelge 3.3'te incelenmiştir.

Çizelge 3.3. Pasif dengeleme ve aktif dengeleme yöntemlerinin karşılaştırılması (Soydaş, 2015)

Aktif Dengeleme	Pasif Dengeleme
Fazla enerjiyi diğer bataryalar üzerine taşınır.	Fazla enerjiyi ısı ile boşa harcar.
-	Sistemin gereksiz yere ısınmasına neden olur.
Karmaşıktır. Çok sayıda kontrol elemanı gereklidir.	Basittir. Az sayıda elemandan oluşabilir.
Kullanılan elemanların fazlalığından dolayı uzun süre uykuda bekleyen sistemlerde pasif dengeleme yöntemi daha verimli olabilir.	-
Ortalama cell başına 10 birimlik maliyeti vardır.	Ortalama cell başına 1 birimlik maliyeti vardır.
Uykuda harcadığı enerji yaklaşık 50 mW' dır.	Uykuda harcadığı enerji 0 mW a çok yakındır.
Bir elektrikli otomobil için ortalama maliyeti yaklaşık 1000 birimdir.	Bir elektrikli otomobil için ortalama maliyeti yaklaşık 100 birimdir.

3.6. Batarya Yönetim Sistemi ve Görevleri

BYS'nin amacı bataryanın verimini ve ömrünü artırmaktır. Bataryalar elektrikli aracın hareketi için kullanıldıklarından, batarya parametrelerinin kontrolü oldukça önemlidir. Batarya parametreleri olan gerilim, akım, sıcaklık gibi verilerin herhangi bir istenilmeyen duruma karşı anlık olarak okunup, görüntülenmesi gerekir. Şarj ve deşarj işlemleri esnasında bu parametreler takip edilerek önemli olan durumlarda sistemin uyarı vermesi beklenir. Aşırı şarj olma, zamansız deşarj olma, yüksek akım, yüksek sıcaklık gibi durumlarda gerekli işlemleri yaparak bataryayı korur. BYS gerilim, akım ve sıcaklık verilerinden okuduğu değerlere göre batarya paketindeki kalan enerjiyi hesaplayabilir. Bunun sonucunda ise batarya paketinin kullanabileceği süreyi tahmin edebilir. Ayrıca, şarj işlemi esnasında bataryada depolanan enerjiyi hesaplayarak batarya ömrünü tahmin edebilir (Kılıç, 2016). BYS birçok farklı görevi yerine getirebilir. Bu görevler, bataryayı izleme, bataryayı koruma, şarj/deşarj yönetimi, teşhis ve kestirim, veri yönetme olmak

üzere, beş gruba ayrılabilir (Gül, 2018). Şekil 3.27’de BYS’nin beş gruba ayrılan görevleri gösterilmiştir.



Şekil 3.27. BYS’nin görevleri (Gül, 2018)

3.6.1. Batarya izleme görevleri

BYS, batarya paketine yapılan ölçümler ile batarya paketini takip edebilmektedir. BYS’nin bataryaya yaptığı bu ölçümler aşağıda sıralanmıştır:

- Her bir hücrenin ayrı ayrı gerilimlerini ölçer.
- Hücrelerin toplam gerilimlerini ölçer.
- Her bir seri hücre kolunun akımını ölçer.
- Ortam sıcaklığını ölçer.
- Hücre sıcaklığını ölçer.
- Ortamın nem değerini ölçer.
- Bataryanın izolasyon direnç değerini ölçer.
- Soğutma sıvısı/gaz sıcaklığını ölçer.
- Konnektörlerin ve kapakların konumunu ölçer.

BYS, bataryanın korunabilmesi için tüm bu ölçümleri hatasız bir şekilde yapmalıdır.

Şarj ve deşarj anında hücrenin güvenli çalışma değer aralığında tutulabilmesi için hücre gerilim değerinin büyük bir hassasiyet ile ölçülmesi oldukça önemlidir. Hücre gerilim değerinin doğru ölçümünün bir büyük diğer önemi ise, kapasite hesabı, sağlık

kestirimi gibi algoritmalar için hücre gerilimine ihtiyaç duyulmasıdır. Batarya akım değerinde çalışma esnasında güvenli çalışma bölgesi dışına çıkmaması büyük önem taşımaktadır. Bataryanın kapasite hesabının için akım değerinin yüksek doğrulukta ölçülmesi gerekir.

BYS, bataryaların uygun sıcaklık koşullarında kalabilmesi için termal yönetim sistemine ihtiyaç duyarlar. Çünkü lityum tabanlı batarya hücreleri sıcaklık değişimlerinden çok fazla etkilenirler. Elektrikli araçlarda düşük gerilim sistemleri ile yüksek gerilim bataryanın birbirinden tamamen izole olması gereklidir. İzolasyonun azalması ve delinmesi gibi durumlarda oluşacak kaçak durumu hem insanları hem de bataryayı olumsuz yönde etkiler. Bu yüzden, bataryanın izolasyon direnci BYS tarafından sürekli ölçülerek kontrol altında tutulmalıdır. BYS, farklı ortam koşullarında konnektör bağlı/değil, kapak açık/kapalı gibi durumları izleyerek kontrolünü sağlamalıdır. Tüm bu ölçümler ile BYS'nin güvenliği sağlanabilmektedir (Gül, 2018).

3.6.2. Bataryayı koruma görevleri

Bataryaların güvenli bir şekilde korunması için, bataryanın gerilim, akım, sıcaklık bilgileri anlık olarak izlenerek, kontrol altında tutulmalıdır. Yüksek gerilim, yüksek akım, yüksek sıcaklık gibi durumlarda bataryayı korumak için gerekli önlemler alınmalıdır.

Gerilim Sınırları

Batarya hücre gerilimleri, kalan batarya kapasitesini hesaplamak, hücre gerilim değerini güvenli bölgede tutmak ve hücreler arası gerilim dengesizliklerini tespit etmek için sürekli olarak takip edilmelidir (Kılıç, 2016). Şarj esnasında hücrelerin gerilimi sürekli olarak izlenir ve batarya hücreleri nominal gerilim değerine ulaştığı zaman şarj işlemi bitirilir. Deşarj işlemi sırasında hücre gerilimi, deşarj sonlandırma gerilimine ulaştığında yük, batarya grubundan ayrılır ve hücre aşırı deşarj olmaktan korunur. Hücre gerilimi deşarj sonlandırma gerilimi değerinin altına düştüğünde hücrenin depolayabileceği azami kapasite değeri azalır veya tamamen bitebilir (Kılıç, 2016).

Akım Sınırları

Bataryadan çekilecek akımın sınır değerlerinin kontrol altında tutulması gerekir. Bataryalardan çekilecek akım, batarya türüne ve kapasitesine göre farklılıklar gösterebilir. Akım sınır değerleri kontrol altında tutulmazsa bataryalar ısınabilir, patlayabilir veya kullanım ömürleri azalabilir. Şarj ve deşarj işlemleri esnasında bataryanın akım değeri sürekli olarak izlenmelidir. Akım değeri güvenli çalışma bölgesi dışına çıktığında BYS

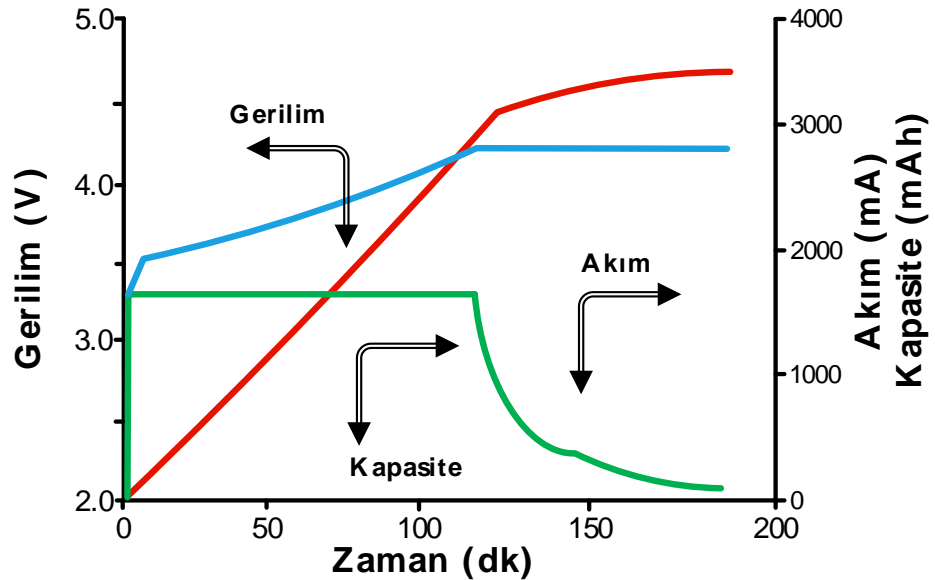
devreleri şarj aletinin ya da yükün batarya grubuyla arasındaki ilişkiyi kesmelidir (Kılıç, 2016).

Sıcaklık Sınırları

BYS'nin en önemli görevlerinden biri de hücrelerin sıcaklıklarını ölçmesidir. Devrede herhangi bir algılayıcının sıcaklık değeri, sıcaklık sınırını aşarsa batarya hücrelerini soğutmak için varsa devreye bağlı fan sistemi açılacaktır. Açılacak fan sistemi tarafından sıcaklığın daha çok yükselmesinin önüne geçmek istenilmektedir. Fan sisteminin devreye girmesine rağmen sıcaklık yükselmesinin önüne geçilemezse, BYS acil röle açma sinyali göndererek şarj/deşarj işlemini durduracak ve hücre gerilim dengelenmesi işlemine son verecektir (Baygüneş, 2019).

3.6.3. Şarj/Deşarj yönetimi

Bataryanın asıl kullanım amacı, aracın elektrik motorunun tahrik edilmek istenmesidir. Bunun için batarya çıkışları bir motor sürücüsüne bağlıdır ve batarya, motorun çalıştırıldığı andeşarj işlemine başlar. Şarj işlemi ise araç üzerinde ya da dışında olan bir şarj cihazı ile gerçekleştirilir. Her iki durumda da gerilim ve akım değerleri kontrol edilerek, güvenli bölgeden çıkmaları durumunda BYS koruma görevini yerine getirir (Gül, 2018). Şekil 3.28'de örnek bir şarj karakteristiği verilmiştir.



Şekil 3.28. Örnek bir şarj karakteristiği

3.6.4. Teşhis ve Kestirim Görevleri

Kapasite durumu ve sağlık durumu değerleri doğrudan batarya üzerinden ölçülen değerler değildir bu yüzden BYS, bataryaların gerilim, akım ve sıcaklık değerlerini hatasız ölçümlerinden yola çıkarak bataryanın kapasite durumunu ve sağlık durumunu tahmin etmemizi sağlar.

Kapasite Durumu (SOC)

Elektrikli araçlarda zamansız deşarj, aşırı şarj gibi durumlar bataryanın ömrünü kısaltan ve tehlikeli koşullara sebep olabilecek durumlardır. Kapasite durumu (SOC), batarya yönetim sistemindeki bu önemine rağmen doğrudan batarya kutup başlarından ölçülemez. Bu yüzden, SOC'yi tahmin etmek için bazı yöntemler geliştirilmiştir (Rahimi-Eichi ve ark., 2013).

SOC'yi tahmin etmek için geliştirilen yöntemler ölçümsel yaklaşımlar, tahmine dayalı yöntemler, akım/şarj sayımı olmak üzere üç başlık altında açıklayabiliriz:

Ölçümsel yaklaşımlar:

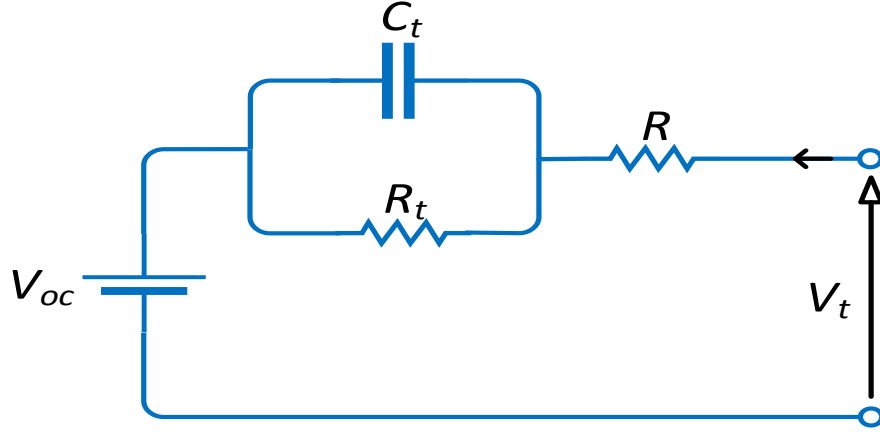
Ölçümsel yaklaşımlarla ilgili özellikler şu şekilde sıralanabilir (Web9, 2017):

- Temel olarak hücrenin iç direncinin, elektrolit yoğunluğunun ya da hücre empedansının ölçülmesi ile yapılır.
- Ölçüm için gerekli olan aletlerin hacmi ve elektriksel gereksinimleri çoktur.
- Bu yaklaşım ile, sürüş esnasında SOC'nin tahmin edilmesi mümkün değildir.
- Oldukça isabetlidir.

Tahmine dayalı yöntemler:

Şekil 3.30'de örnek şeması verilen tahmine dayalı yöntemler ile ilgili özellikler şu şekilde sıralanabilir (Web9, 2017):

- Filtre uygulamaları, bulanık mantığa dayanan yöntemler, yapay zekâ, açık devre yöntemleri...
- Oldukça zor hesaplama yükü ve uzun hesaplama süresi vardır.
- Yöntemi tasarımı için batarya modeline gereksinim vardır.
- Genel olarak rekürsif bir yapısı vardır fakat bu yapının mikroişlemcide gerçekleştirilmesi bazı sorunlara sebep olmaktadır.
- Bu yöntem BYS için pek uygun değildir.



Şekil 3.29. Tahmine dayalı yöntemler için örnek devre şeması (Web9, 2017)

Akım sayma yöntemi:

Akım sayma yöntemi ile ilgili özellikler aşağıda verilmiştir (Web9, 2017; Aldoğan, 2012):

- Geliştirilen yöntemler arasında en basit olanı akım sayma yöntemidir.
- Bataryanın çalışma anındaki SOC'sini hesaplar.
- Bataryadan çekilen akımın integrali yardımıyla harcanan kapasite hesaplanır.
- Hesaplanan değer, başlangıç kapasitesinden çıkarılarak geriye kalan kapasite bulunur.
- İşlem, belirli periyot aralıklarında sürer.
- Kapasitesi bilinen bir bataryanın SOC'si aşağıda gösterilmiştir.

$$SOC = \frac{\text{Şarj Edilme Miktarı (Ah)}}{\text{Pilin Kapasitesi (Ah)}} \times 100 \quad (3.21)$$

Sağlık Durumu (SOH)

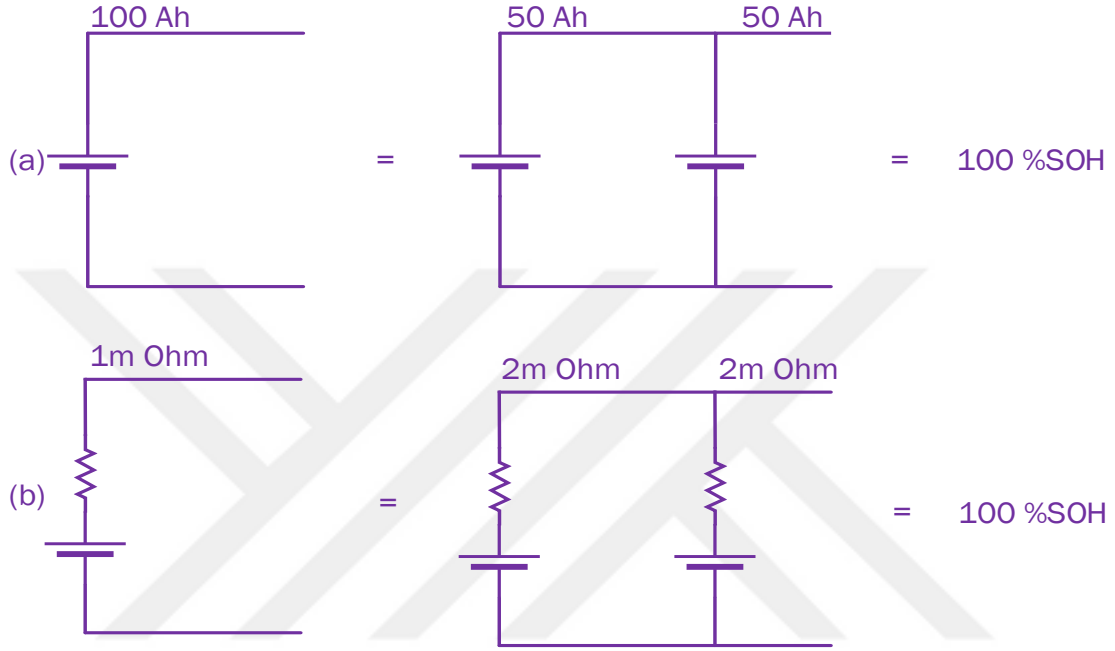
Sağlık durumu (SOH), BYS için başka bir önemli göstergedir. Olabilecek batarya işlevselliğinin hücre veya paket seviyesinde gözlenir. SOH'de, SOC gibi doğrudan batarya kutup başlarından ölçülebilen bir parametre değildir. SOH'u açıkça tanımlamaya ihtiyaç vardır. Elektrikli araçlarda SOH tahmini için hala önemli çalışmalar yapılmaktadır (Rahimi-Eichi ve ark., 2013).

SOH'nin %100 olması bataryanın koşullara uygun olduğu anlamına gelir. Batarya koşulları kötüleşirse SOH değeri azalır. SOH değerinin %100'ün altında olması çeşitli üreticiler tarafından farklı şekilde tanımlanmaktadır. SOH değerinin batarya ve BYS içinde bir işlevi yoktur, ancak SOH değeri harici sisteme uygulamaya özel bir eşik değeri ile karşılaştırılabilir, böylece:

- Mevcut koşullarında bataryanın kullanılıp kullanılmayacağı belirlenebilir.

- Bataryanın uygulamadaki kullanım ömrü tahmin edebilir.

Belirli bir fiziksel kaliteyi ölçmediği için SOH değerlendirmesi isteğe bağlıdır. Bir BYS, SOH değerini değerlendirmek için, hücre direncinde artış, gerçek kapasite, şarj/deşarj döngüsü sayısı, kendi kendinedeşarj oranı ve geçiş zamanı gibi parametrelerin bir veya daha fazlasını kullanabilir (Andrea, 2010). Şekil 3.31’de örnek olarak paralel olan iki hücrenin SOH’si gösterilmiştir.



Şekil 3.30. Paralel olarak iki hücrenin SOH’si: (a) Nominalden daha düşük kapasiteli iki hücre ve (b) Nominalden daha yüksek dirençli iki hücre (Andrea, 2010)

3.6.5. Veri yönetme görevleri

BYS, tasarımı oluşturan elektronik kartlar arasında ve kullanıcı ile sayısal haberleşmeyi sağlayan sistemler bulundurmaktadır. Bu sayısal haberleşme sistemleri ile hücre gerilimleri, sıcaklıkları gibi batarya verileri güvenli bir şekilde istenilen elektronik karta iletilir. BYS, batarya toplam gerilimi, batarya durumu, en yüksek ve en düşük gerilimdeki hücreler gibi bataryayla ilgili bilgileri kontrol birimleri ile paylaşabilmeli ve kritik durumlarda dışarıdan komutlar alabilmelidir. BYS’nin bazı verileri hafıza birimlerine kayıt etmesi, bataryanın bakımı ve servisi sırasında kullanmak ve bataryanın geliştirilmesi açısından gereklidir. Bu işlem için E2PROM, SD kart, flash hafıza gibi hafıza birimleri kullanılabilir (Gül, 2018).

4. MATERYALLER VE BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI

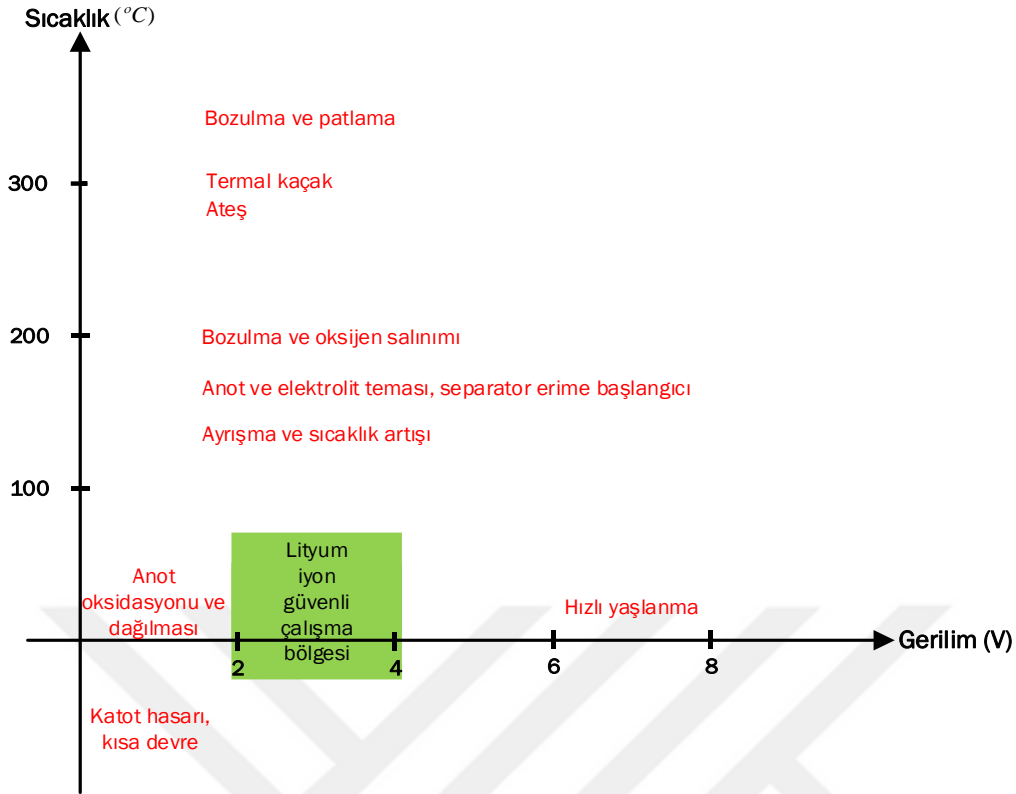
BYS hücrelerin sıcaklık, gerilim ve akım gibi önemli değerlerini okuyarak şarj ve deşarj işlemlerini yöneten yazılım ve donanım tabanlı bir sistemdir. BYS tasarımımda çokça tercih edilen ana kart-yardımcı kart BYS türü tercih edilmiştir. Bu BYS türü seçildiğinden dolayı tasarım yardımcı kart ve ana kart olmak üzere iki bölümde gerçekleştirilmiştir.

BYS'nin doğru çalışabilmesi için gerilim, akım ve sıcaklık değerlerinin kontrol altında tutulması gereklidir. BYS parametrelerinin kontrol altında tutulması için batarya hücrelerinin anlık olarak izlenebilmesi gerekmektedir. Bunun için tasarımımda, 4.3 inç NEXTION HMI ekran, koruma kutusu üzerine yerleştirilmiştir. Kullandığımız bu ekran batarya hücrelerinin gerilim ve sıcaklık değerlerini izleyebilmemizi sağlamıştır. Bu sayede bataryaların, yüksek gerilim, düşük gerilim, yüksek sıcaklık gibi durumlara karşı korunması ve güvenli bölge içerisinde kalması sağlanmıştır. Böylece kullanılan bataryaların performansı arttırılmıştır.

Tasarımı gerçekleştirilen BYS devrelerini ve elemanlarını korumak için sistem bir koruma kutusunun içine alınmıştır. Tasarımda elektrikli araçların bataryasında kullanılmaya uygun materyaller seçilmeye dikkat edilmiştir.

4.1. Tasarımda Kullanılan Batarya Türü

BYS sistemi tasarımımda US18650VTC6 model lityum iyon batarya kullanılmıştır. Kullanılan lityum iyon bataryanın nominal gerilimi 3.7V, anlık deşarj akımı 30A, kapasitesi ise 3600mAh'dir. Üretilen bataryaların üzerinde yazan değerlerde, ± 0.1 tolerans değeri kabul edilebilir bir değerdir. Nominal voltaj değerinin yüksek olması, enerji yoğunluğunun yüksek olması, hafıza etkisinin olmaması (istenildiği zaman şarj ve deşarj edebilmeyi sağlar) gibi avantajlarından dolayı tasarımda lityum iyon batarya kullanımı tercih edilmiştir. Lityum iyon bataryanın güvenli çalışma sıcaklık aralığı $-20, +60^{\circ}\text{C}$ 'dir. Lityum iyon bataryanın dezavantajı ise sürekli kontrol edilmesinin gerekmesidir. Çalışmada bataryaların gerilim değerlerinin ölçümü yapılır, eğer ölçüm bilgilerinde güvenli bölge dışına çıkan bir değer varsa batarya yükten veya şarj cihazından ayrılarak bataryalar aşırı şarj olmaktan veya deşarj olmaktan korunur. Lityum iyon bataryanın güvenli çalışma bölgesi Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Lityum iyon bataryanın güvenli çalışma bölgesi (Lu ve ark., 2012)

4.2. Yardımcı Kart Tasarımı

Ana kart-yardımcı kart BYS türünde, yardımcı kart hücre ölçümleri ve hücre dengelemesi işlemlerini üstlenir. Ölçülen veriler ana karta iletilir.

Hücre gerilim dengeleme yöntemi olarak pasif dengeleme yöntemi seçilmiştir. Pasif dengeleme yönteminin verimi aktif dengeleme yönteminin verimine göre düşük olsa da ucuz ve uygulaması kolay bir yöntem olması pasif dengeleme yönteminin seçilmesini sağlamıştır. Pasif dengeleme yöntemi birçok uygulamada yeterli olmaktadır.

Yardımcı kart tasarımı yapılırken dikkat edilmesi gereken bazı konular vardır bunlar ölçülebilecek en az hücre, ölçülebilecek en fazla hücre, gerilim ölçüm doğruluğu, pasif dengeleme, güç tüketimi, boyut, haberleşme yapısı, otomotive uygun elektronik bileşen kullanımı ve maliyet olarak sıralanabilir.

Ölçülebilecek en az hücre ve en fazla hücre sayısı batarya modüllerine uyum sağlamaya çalışmada oldukça önemlidir. Bir modül dört hücreden meydana gelebileceği gibi on iki hücreden de meydana gelebilmektedir.

Ana kart-yardımcı kart BYS türünde yardımcı kart, ölçüm yaptığı batarya hücrelerinden enerji ihtiyaçlarını temin eder. Bu yüzden yardımcı kart zamanla batarya

kapasitesini düşürmektedir ve bu istenmeyen bir olaydır, bu yüzden yardımcı kartın güç tüketiminin çok az olmasına çalışılır.

BYS tasarımı yapılırken maliyetin uygun olması istenildi. Bu yüzden yardımcı kart tasarımı yapılırken hem sistem performansı açısından kullanılan malzemelerin başarısına hem de malzemelerin maliyetine dikkat edildi. Bu amaç doğrultusunda yarı iletken üretici firmaların BYS'leri tasarımında kullanılmak üzere "Battery Management Integrated Circuit (BMIC)" veya "Battery Monitor" isminde piyasaya sürdükleri entegre devrelerden biri olan LTC6802-2 kullanılmıştır. LTC6802-2 ile yardımcı kart görevlerini düşük maliyet, küçük boyut ve yüksek başarımla gerçekleştirebilir.

BYS tasarımı 44 pinli LTC6802-2 entegre devresi ile kontrol edilmiştir. LTC6802-2, eksiksiz bir pil izleme entegre devresidir. 12 bitlik ADC içerir, hassas voltaj referansı, yüksek voltaj giriş çoklayıcı ve seri arayüze sahiptir. Her LTC6802-2, 60V'a kadar toplam giriş voltajı ile 12 seri bağlı pil hücrelerini ölçebilir. Tüm 12 giriş kanalındaki voltajı 13 ms içinde ölçer. Birçok LTC6802-2, 12 adede kadar LTC6802-2 cihazının bir kontrol işlemcisine arabirim oluşturmaya ve aynı anda çalışmasına izin veren ayrı ayrı adreslenebilir bir seri arayüze sahiptir. Her bir hücre aşırı gerilim ve düşük gerilim açısından izlenebilir. Besleme akımını $50\mu A$ 'ya düşürmek için bir bekleme modu da sağlanır. Her hücre girişinde, aşırı yüklenmiş herhangi bir hücreyi deşarj edebilen, bir MOSFET anahtarı bulunur.

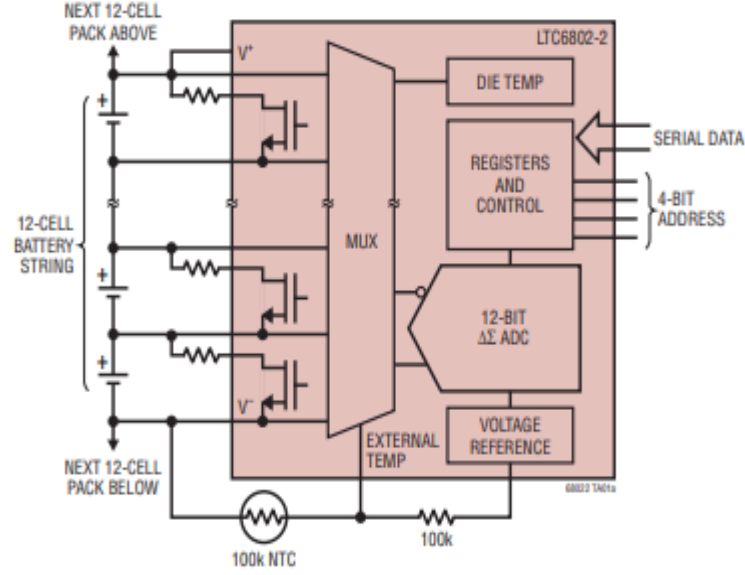
LTC6802-2, 12 bit ADC, hassas voltaj referansı, yüksek gerilim giriş çoklayıcı ve seri arayüz içeren eksiksiz bir batarya izleme entegre devresidir. Her LTC6802-2, 16 adede kadar LTC6802-2 entegresinin bir kontrol işlemcisine arabirim oluşturmaya ve aynı anda çalışmasına izin veren ayrı ayrı adreslenebilir bir seri arayüze sahiptir.

BYS tasarımı LTC6802-2 entegre devre ile kontrol edilmiştir. LTC6802-2 entegre devre, toplam giriş nominal voltajı 33.3 V olan 9 seri bağlı batarya hücrelerinin kontrolünü gerçekleştirmektedir.

LTC6802-2'nin üç çalışma modu vardır, bunlar bekleme, ölçüm ve izleme modlarıdır. Bekleme modu mümkün olan en düşük besleme akımı durumudur. Seri arayüz ve voltaj regülatörü hariç tüm devreler kapalıdır, güç tasarrufu sağlar. Ölçüm modunda, entegre devre her hücre gerilimini ölçer. Ayrıca her bir hücre voltajının aşırı gerilim ve düşük gerilim durumlarında tespit edilmesini sağlayacaktır. İzleme modu ise sadece hücreleri izler.

LTC6802-2 ile bir ana işlemci arasındaki iletişim, SPI uyumlu bir seri arabirim tarafından gerçekleştirilir. Tek bir seriye birden fazla LTC6802-2 entegre devresi

bağlanabilir (Web7, 2020). Şekil 4.2’de LTC6802-2 uygulama devresi ve Şekil 4.3’de LTC6802-2 entegresinin blok şeması verilmiştir.



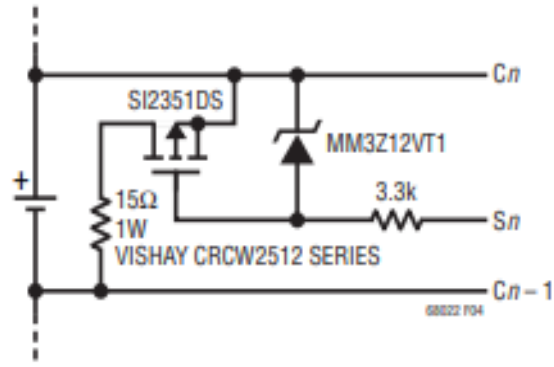
Şekil 4.2. LTC6802-2 uygulama devresi (Web7, 2020)

Özellikleri

- Otomotiv uygulamaları için kullanılmaya uygun niteliktedir.
- Seri halde bulunan 12 adet lityum iyon hücreyi ölçer.
- İstiflenebilir mimari yapısı ile yüksek batarya voltajlarının izlenebilinmesini sağlar.
- Bir sistemdeki tüm hücreleri 13 ms’de ölçebilir.
- Anahtarlı pasif hücre dengelemesi yapar.
- İki termistör girişi ve yerleşik sıcaklık sensörü vardır.

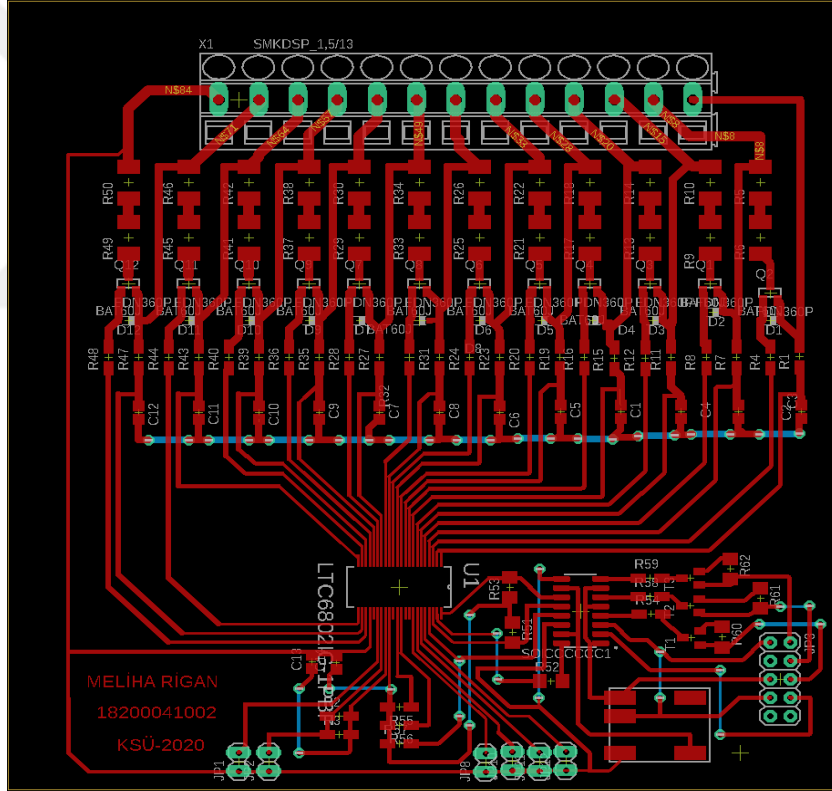
Uygulama alanları

- Elektrikli ve melez elektrikli araçlar
- Yedek batarya sistemleri
- Yüksek güçlü taşınabilir ekipman
- Yüksek gerilim veri toplama sistemleri

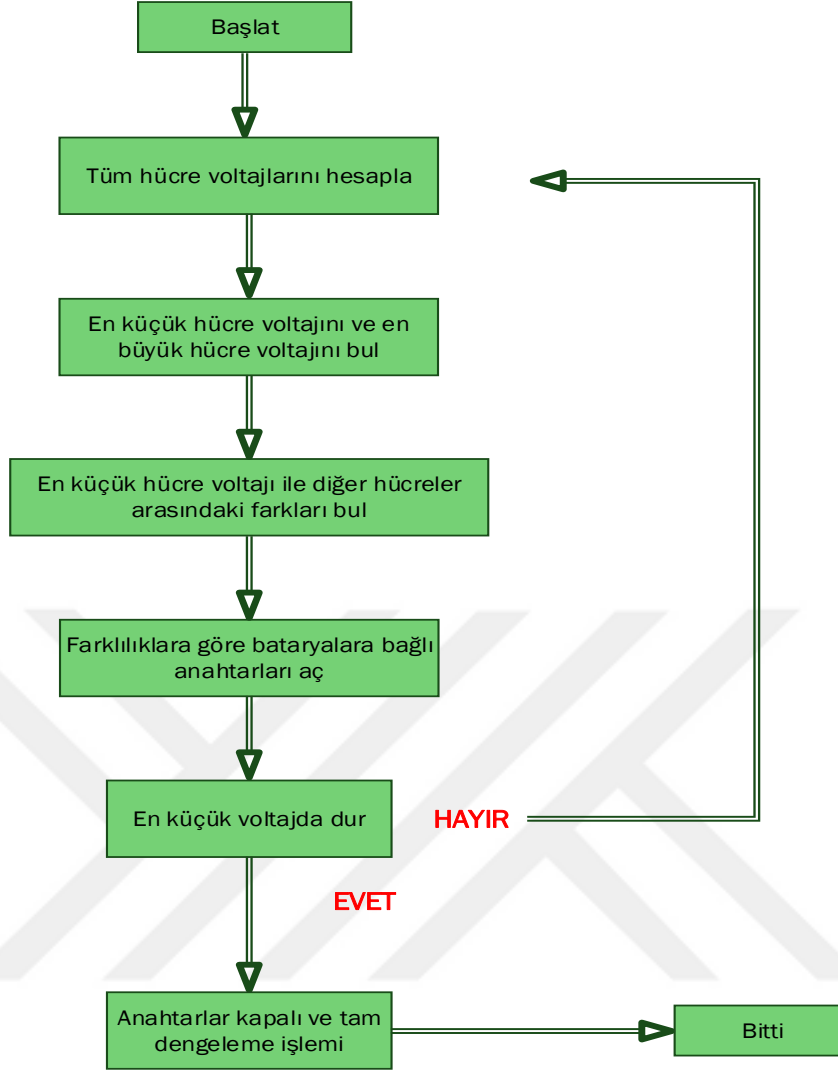


Şekil 4.4. Harici bir hücre degeleme devresi (Web7, 2020)

Yardımcı kart (elektronik devre) eagle programı ile çizilmiştir. Yardımcı kartın PCB düzeni Şekil 4.5’de gösterilmiştir. BYS’nin kontrol algoritması Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.5. Yardımcı kartın PCB düzeni



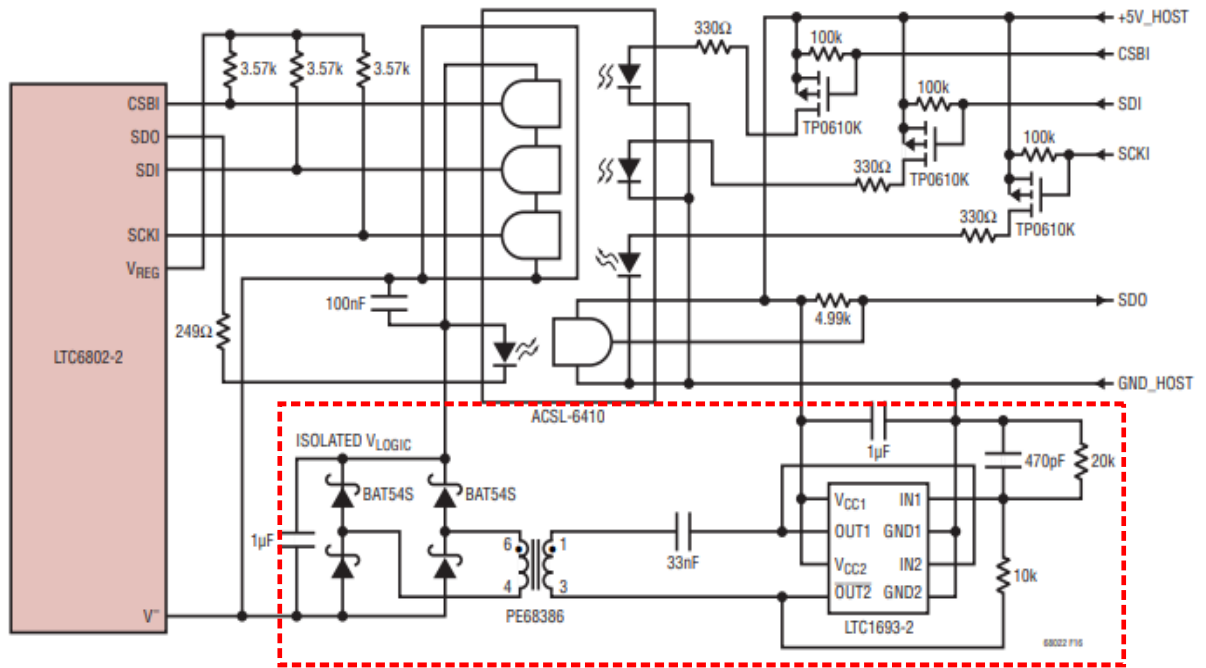
Şekil 4.6. BYS'nin kontrol algoritması

Tasarımı gerçekleştirilen yardımcı kartın üzerinde LTC6802 entegresi ile bataryalar arasında her bir batarya için hücre gerilimini dengeleme devresi ve filtreleme elemanı yer almaktadır. Hücre gerilimleri dengeleme devresinde dengelemeyi sağlayacak mosfeti tetikleme direnci, gerilim bilgisini okumamızı sağlayan bir direnç ve iki adet de fazla enerjinin harcanmasını sağlayan dirençler bulunmaktadır ayrıca gerilim sınırlandırma amaçlı zener diyotlar kullanılmıştır.

Yardımcı kartın gerilim değeri ile ana kartın gerilim değerleri arasında potansiyel fark olduğu için haberleşme esnasında hatalar meydana gelebilir. Yardımcı kart ve ana kart arasındaki haberleşmede doğabilecek hatalar için gerilim uygunlaştırmasının yapılması gerekir bunun için DA/DA dönüştürücü yardımcı kartta yer almaktadır. Ayrıca devre üzerinde bulunan A6410, yardımcı kart ve ana kart arasında optik izolasyon sağlamaktadır.

Ana kart ve yardımcı kart arasında bir haberleşme yapısı kurulmalıdır. LTC6802 entegresi haberleşme sistemi için SPI protokolü kullanır. SPI haberleşme yapısı elektromanyetik gürültülere karşı dayanıklı bir haberleşme sistemidir ve galvanik izolasyon da sağlar. SPI haberleşme hızı düşürülerek haberleşme mesafesi artırılabilir.

LTC6802-2'nin 1 Mbps veri hızını destekleyebilen yalıtım teknikleri, yalıtılmış (batarya) tarafında LTC6802-2'nin V_{REG} çıkışı tarafından sağlanabilecek olandan daha fazla güç gerektirir. Batarya tüketimini en aza indirebilmek için, bir DA/DA fonksiyonu Şekil 4.7'de gösterildiği gibi uygun bir veri izolasyon devresi ile birlikte uygulanması gerekir. Bu devre bataryalar ve ana işlemci arasında tamamen galvanik izolasyon sağlar (Web7, 2020).

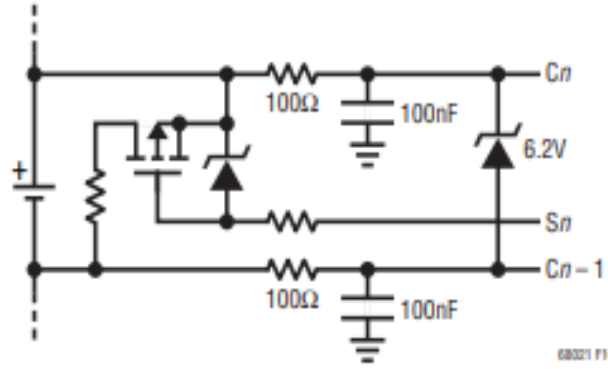


Şekil 4.7. İzole yüksek hızlı veri arabirim sağlama (Web7, 2020)

Hücre-Gerilim filtreleme

LTC6802-2, analogdan dijitale dönüşümlerini gerçekleştirmek için bir örnekleme sistemi kullanılır ve delta-sigma modülatör hızına göre, 0.5 ms dönüşüm aralığı boyunca 512 kHz'de yararlı azalmaya sahip düşük geçiş filtresinin faydalı olabileceğini gösterir. Delta-sigma entegrasyon bant genişliği yaklaşık 1 kHz olduğundan, filtre köşesinin doğru dönüşümleri sağlamak için bundan daha düşük olmalıdır. Sadece harici deşarj anahtarı FET'lerin kullanılması koşuluyla, giriş yollarına 100 Ω 'luk seri direçler yerleştirilebilir. Şönt kapasitörler Şekil 4.8'de gösterildiği gibi RC filtrelemesi oluşturarak hücre girişlerinden V^- 'ye eklenebilir. Bu filtreleme, akımın taşınması için dahili deşarj anahtarlarının kullanımı ile uyumlu değildir, çünkü bu, dönüşüm sırasında çökme

hatalarına neden olacaktır. Etkinleştirilmiş herhangi bir anahtar, Kelvin modu hücre algılaması sağlamak için geçici olarak açılmaktadır. Bir deşarj anahtarı açıldığında, hücre kablolama direnci de küçük bir voltaj adımı oluşturacaktır, böylece filtrenin frekans kesimini nispeten yüksek tutmak, gerçek dönüşümden önce yeterli yerleşime izin verecektir. ADC zamanlamasında yaklaşık 60µs'lik bir koruma süresi sağlanır, bu nedenle 16kHz LP en uygunudur ve yaklaşık 30dB gürültü reddi sunar. V⁻ pin ile seri olarak hiçbir direnç yerleştirilmemelidir.



Şekil 4.8. Hücre girişlerine RC filtresi ekleme

4.3. Ana Kart Tasarımı

Tasarımda BY5 türleri arasında ana kart-yardımcı kart BY5 türü kullanıldığından tasarımda bir adet ana kart bulunmaktadır. Ana kart sistemin merkezi kontrol birimidir, başka bir deyişle sistemin beynidir de denilebilir. Tasarlanan ana kart, batarya toplam gerilimi ölçmek, batarya rölesini kontrol etmek, yardımcı kart ile haberleşmek, batarya parametrelerini hesaplamak gibi önemli görevleri yerine getirir. Tasarımı gerçekleştirilen ana kartın ve batarya parametrelerini izleyebilmemizi sağlayan Nextion HMI ekranın enerji ihtiyacı besleme gerilimleri 220/5V SMPS (güç kaynağı) ile sağlanmıştır, bunun sebebi ise Nextion HMI ekranın güç tüketiminin fazla olmasıdır. Ana kart üzerinde arduino nano bulunmaktadır, yazılımlar arduino arayüzü ile yazılmıştır.

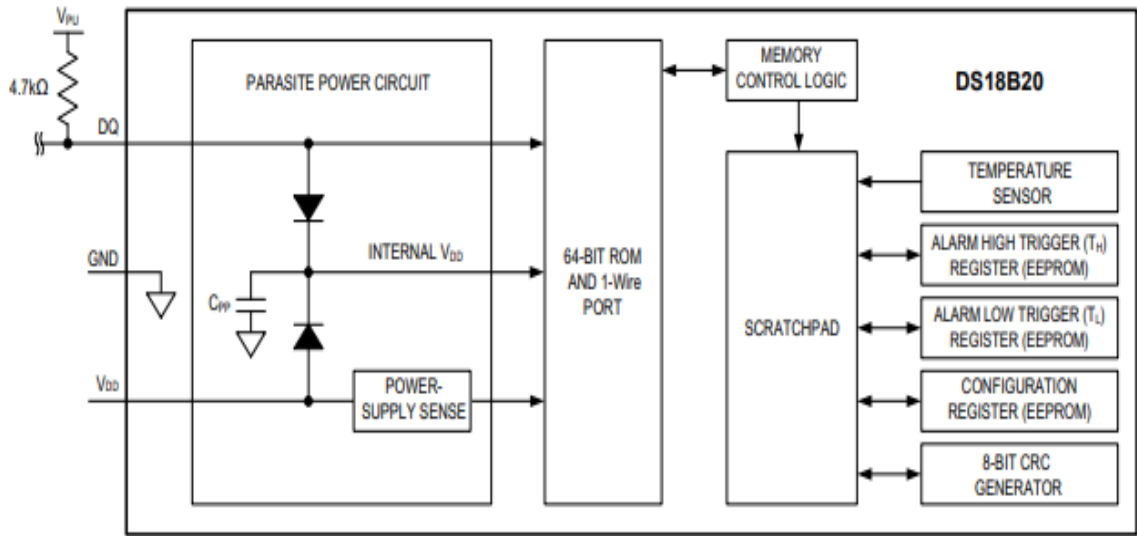
Ana kart SPI haberleşme ile bataryaların gerilim bilgilerini yardımcı karttan alır ve bu bilgilerin sistem yönünü yönetir. Ayrıca bataryaların sıcaklığını ölçer ve eğer sıcaklık değeri belli bir noktaya ulaşırsa fan sistemini devreye girdirir.

Ana kart, tüm bilgileri UART haberleşme sistemi ile dokunmatik ekrana göndererek görüntülenmelerini sağlar.

Tasarlanan ana kart üzerinde bulunan DS18B20 sıcaklık sensörü tarafından bataryaların sıcaklık ölçümü gerçekleştirilmektedir. DS18B20 sıcaklık sensörü kullanıcı tarafından programlanamayan alarm fonksiyonu ve düşük tetik noktalarına sahiptir (Web8, 2020). Şekil 4.9’da DS18B20 sıcaklık sensörünün blok şeması gösterilmiştir.

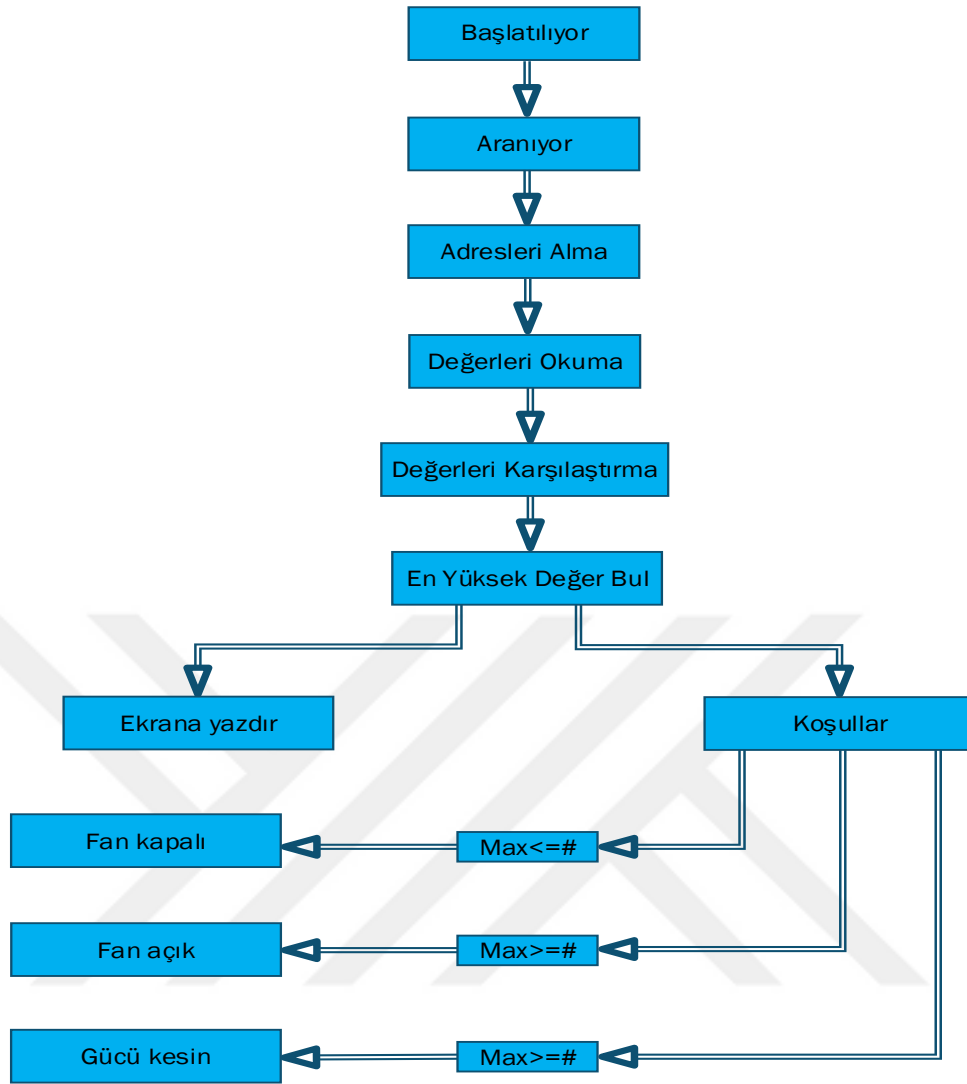
Avantajları ve Özellikleri

- Benzersiz 1-Telli arabirimi yalnızca bir bağlantı noktası gerektirir.
- -55°C ile $+125^{\circ}\text{C}$ arasındaki sıcaklıkları ölçer.
- -30°C ile $+100^{\circ}\text{C}$ arasında sıcaklık hassasiyeti $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ’dir.
- 9 bit ile 12 bit arasına programlanabilir çözünürlüğe sahiptir.
- Harici bileşen gerekmez.
- Parazit güç modu yalnızca iki pin gerektirir.
- Her cihazın yerleşik ROM’da saklanan benzersiz bir 64 bit seri kodu vardır.
- Alarm fonksiyonlarına sahiptir (Web8, 2020).

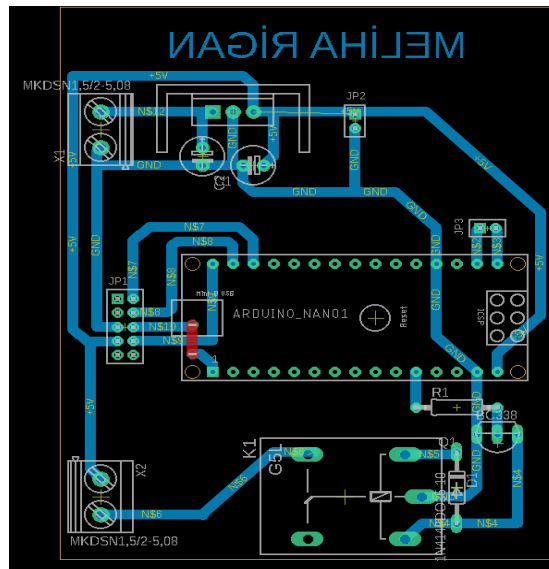


Şekil 4.9. DS18B20 sıcaklık sensörünün blok şeması (Web8, 2020)

DS18B20 sıcaklık sensörü, bataryalarda okunan değerleri alması sonrasında bu değerleri birbiriyle karşılaştırması ve maksimum sıcaklığı bulması için mikro denetleyiciye komut verir. Eğer sıcaklık 45°C ’yi geçerse fan sistemi devreye girecektir eğer ki fan sistemi yeterli olmazsa, sıcaklık değeri 50°C ’yi geçerse, ana kart üzerinde bulunan sıcaklık rölesi yardımıyla devrenin gücü kesilecektir. Şekil 4.10’da sıcaklık kontrol algoritması verilmiştir. Şekil 4.11’de ana kartın PCB düzeni gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Sıcaklık kontrol algoritması



Şekil 4.11. Ana kartın PCB düzeni

4.4. Görüntüleme Sistemi

BYS, batarya paketlerinde gerilim, akım ve sıcaklık değerlerinin ölçümünü yaparak, değerler güveli bölgenin dışına çıktığı zaman müdahale eden sistemdir. Bunun için bu değerlerin doğru bir şekilde ölçülerek kullanıcıya gerektiğinde uyarı verilmesi gerekmektedir. Tasarımda ölçülen değerlerin gösterildiği bir ekran mevcuttur. Batarya bilgilerinin ekranda gösterilebilmesi için ana kart ile haberleşen 4.3 inç Nextion HMI ekran tasarımda kullanılmıştır. Ana kart ve ekran başarılı bir şekilde haberleştirilmiştir. Ekranda dokuz adet bataryaya ait gerilim değerleri ve bataryaların toplam sıcaklık değerleri mevcuttur. Üretilen bataryaların üzerinde yazan değerlerde, ± 0.1 tolerans değeri kabul edilebilir bir değerdir. Şekil 4.12’de tasarımın koruma kutusu üzerine yerleştirilen Nextion HMI ekran gösterilmektedir.



Şekil 4.12. Koruma kutusu üzerine yerleştirilen Nextion HMI ekran görüntüsü

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, her geçen gün hayatımızda daha fazla yer almaya başlayan elektrikli araçların en önemli sistemlerinden biri olan BYS tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasında, dokuz adet seri bağlı lityum iyon bataryalar için bir BYS tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımda BYS'leri için özel olarak geliştirilen Linear Technology firmasının ürettiği bir adet LTC6802-2 entegre devresi kullanılmıştır ve toplam giriş gerilimi 33.3 V olan dokuz seri bağlı batarya hücresinin ölçümü gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada, BYS türleri arasında en yaygın olarak kullanılan, ana kart-yardımcı kart BYS türü seçilmiştir. Yardımcı kart batarya hücrelerinin ölçümünü gerçekleştirip ana karta gönderir, ana kart ise sistemin merkezi kontrol birimi görevini üstlenir ve eğer varsa diğer sistemlerle veya kullanıcıyla haberleşme gerçekleştirir. Ana kart ve yardımcı kart arasında bir haberleşme yapısının kurulması gerekmektedir bunun için LTC6802 entegresinin haberleşme sistemi olan SPI protokolü kullanılmıştır. Bataryayı oluşturan hücreler özdeş değildir, bu yüzden BYS'nin en önemli görevi hücre gerilimlerini dengeleme yöntemidir. Bu görevi gerçekleştirmek üzere LTC6802 entegresi pasif dengeleme yöntemlerinden biri olan anahtarlama direnç ile dengeleme yöntemini kullanmaktadır. Bu yöntem için her hücre girişinde, aşırı yüklenmiş herhangi bir hücreyi deşarj edebilen bir MOSFET anahtarı bulunur. Hücre gerilimlerinin dengelenmesi için ana kart ve yardımcı kart arasında bir kontrol algoritması tasarlanmıştır. Bu kontrol algoritmasına göre yardımcı kart batarya hücrelerinin gerilim değerlerini ölçmüş ve verileri ana karta göndermiştir, ana kart yardımcı karttan gelen veriler doğrultusunda yardımcı karta komutlar göndermiştir ve hücrelerin gerilim dengeleme işlemini gerçekleştirmiştir. Sistemin merkezi kontrol birimi olan ana kartta bataryaların sıcaklık değerini ölçme görevi için DS18B20 sıcaklık sensörü kullanılmıştır. DS18B20, bataryaların ısı dağılımını en iyi gözlemleyeceğimiz ortalama bir yere bağlanmıştır. Ana kart ile DS18B20 arasında bir kontrol algoritması tasarlanmıştır ve bu kontrol algoritmasına göre ana karttan gelen komutlar ile DS18B20 sıcaklık sensörü, bataryalardaki sıcaklık değerlerini ölçmüştür ve sıcaklık değeri 45 °C'yi aştığında fan sisteminin devreye girdirilmesi istenmiştir. Eğer ki fan sistemi bataryalardaki yüksek sıcaklık değerinin önüne geçemezse ve bataryaların sıcaklık değerleri 50 °C'yi aşarsa sistem gücünün kesilmesi istenmiştir. Sonuç olarak, DS18B20 ile sistemin termal korunması sağlanmıştır.

BYS'de batarya parametrelerinin ölçümü yapılarak, değerler güvenli bölge dışına çıktığı zaman müdahale edilmesi gerekmektedir. Bu sebeple çalışma kutusunun üzerine

Nextion HMI ekran yerleştirilmiştir. Ana kart ile ekran haberleşmesi sağlanarak kullanıcının dokuz adet batarya hücresinin gerilim değerlerinin ve bataryaların sıcaklık değerinin izlenmesi sağlanmıştır. Ayrıca, en yüksek batarya gerilimleri ve en düşük batarya gerilimleri belirlenmiştir ve böylece herhangi bir durum anında kullanıcının da sisteme müdahale edebilmesini sağlanmıştır. Yazılım arduino arayüzü ile yazılmıştır.

BYS tasarımı yapılırken sistemin maliyet bakımından uygun olmasına dikkat edilmiştir. Bu yüzden yardımcı kart ve ana kart tasarımı yapılırken, sistem performansı için kullanılan malzemelerin, çalışma başarısına ve maliyet uygunluğuna göre seçimi yapılmıştır. Şekil 4.13’de tasarımı gerçekleştirilmiş olan BYS’nin genel görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.13. Tasarımı gerçekleştirilen BYS’nin genel görüntüsü

Sonuç olarak BYS başarılı bir şekilde çalıştırılmıştır ve istenilen sonuçlar elde edilmiştir. Tez çalışmasının asıl amacı olan hücre dengeleme işlemi güvenli bir şekilde gerçekleştirilerek bataryaların ve sistemin güvenliği sağlanmıştır.

LTC6802-2 entegresinin tüm özellikleri kullanılmamıştır, bu nedenle ileride yapılacak BYS çalışmalarında birçok özellik veri sayfası yönünde etkinleştirilebilir ve kullanılabilir. Ayrıca, belirtilen yazılımdaki kritik değerler farklı sistemlere göre değiştirilebilir.

Bu tez çalışmasının, bundan sonraki çalışmalarda yerli üretim konusunda ülkemize katkıda bulunacağı düşünülmekle birlikte ileride bu konuda yapılacak çalışmalara yol göstererek elektrikli araçlarda bulunan BYS'nin daha çok geliştirilmesine yardımcı olması hedeflenmektedir.



KAYNAKLAR

- Aldoğan, E., (2012). *Batarya yönetim sistemi donanımı tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü. Gebze. 100s.
- Altun, Ş., (2012). *Elektrikli araçlar için batarya yönetim sistemi algoritması tasarımı ve uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi. Gebze İleri teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü. Gebze. 89s.
- Andrea, D., (2010). *Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs*. Artech House. ISBN-13 978-1-60807-104-3, Boston, 302s.
- Avgın, M.S., (2012). *Batarya şarj doluluk durumu model parametresinin G.E.P ile tahmin edilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 87s.
- Baygüneş, B., (2019). *Elektrikli araçlarda batarya yönetim sistemi*. Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Samsun. 107s.
- Cen, J., Li, Z., Jiang, F., (2018). Experimental Investigation on Using The Electric Vehicle Air Conditioning System for Lithium-Ion Battery Thermal Management. *Energy for Sustainable Development*, 45, 88-95.
- Cuma, M.U., Koroglu, T., (2014). A Comprehensive Review on Estimation Strategies Used in Hybrid and Battery Electric Vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 517-531.
- Daowd, M., Omar, N., Van Den Bossche, P., Van Mierlo, J., (2011). A Review of Passive and Active Battery Balancing Based on MATLAB/Simulink. *International Review of Electrical Engineering*, 6(7), 2974-2989.
- Ekici, Y.E., (2019). *Batarya yönetim sistemleri*. Yüksek Lisans Tezi. İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Malatya. 165s.
- Gül, H.S., (2018). *Elektrikli araçlar için batarya yönetim sistemi tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 79s.

- Hannan, M.A., Lipu, M.S.H., Hussain, A., Mohamed, A., (2017). A Review of Lithium-ion Battery State of Charge Estimation and Management System in Electric Vehicle Applications: Challenges and Recommendations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 834-854.
- He, H., Xiong, R., Fan, J., (2011). Evaluation of Lithium-Ion Battery Equivalent Circuit Models for State of Charge Estimation by an Experimental Approach. *Energies*, 4(4), 582-598.
- Kılıç, A., (2016). *Batarya yönetim sistemlerinde ana ve uydu denetleyici modül tasarımı ve CAN protokolü kullanımı*. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Denizli. 74s.
- Kocabey, S., (2018). Elektrikli Otomobillerin Dünü, Bugünü ve Geleceği. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 1, 16-23.
- Koç, C., (2012). *Hibrid araçlarda değişik parametrelere göre elektrik motoru seçimi*. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 91s.
- Lu, L., Han, X., Li, J., Hua, J., Ouyang, M., (2012). A Review on the Key Issues for Lithium-Ion Battery Management in Electric Vehicles. *Journal of Power Sources*, 226, 272-288.
- Muratoğlu, Y., Alkaya, A., (2015). Elektrikli Araç Teknolojisi ve Pil Yönetim Sistemi-İnceleme. *VIII. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 458, 243-248.
- Muratoğlu, Y., Alkaya, A., (2019). Unscented Kalman Filter Based State of Charge Estimation for the Equalization of Lithium-Ion Batteries on Electrical Vehicles. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 9(6), 4876-4882.
- Nafiz, S., (2014). *Elektrikli otobüsler için batarya yönetim sistemi tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir. 140s.
- Nitta, N., Wu, F., Lee, J.T., Yushin, G., (2015). Li-Ion Battery Materials: Present and Future. *Materials Today*, 18(5), 252-264.

- Rahimi-Eichi, H., Ojha, U., Baronti, F., Chow, M., (2013). Battery Management System. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 7(2), 4-16.
- Sezen, B., İşler, A.U., (2017). Elektrikli Araçların Mevcut Durumu, Tercih Edilme ve Edilmeme Sebepleri. *Turkish Journal of Marketing*, 2(2), 82-103.
- Soydaş, Ş., (2015). *Lityum tabanlı batarya paketleri için batarya yönetim sistemi tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü. Karabük. 112s.
- Turğut, M., (2018). *Elektrikli araçlar için batarya yönetim sistemi tasarımı ve geliştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Karabük. 121s.
- Web1, <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work> (Erişim Tarihi: 11.04.2020).
- Web2, (2012). <https://electronics.howstuffworks.com/everyday-tech/lithium-ion-battery1.htm> (Erişim Tarihi: 10.04.2020).
- Web3, (2017). <https://www.birikimpilleri.net/blog/kursun-asit-aku-nasil-calisir> (Erişim Tarihi: 10.04.2020).
- Web4, (2018). <https://www.webtekno.com/lityum-polimer-ile-lityum-iyon-piller-arasindaki-temel-farklar-h39292.html> (Erişim Tarihi: 15.04.2020).
- Web5, (2020). <http://tehad.org/2020/04/12/elektrikli-ve-hibrid-otomobil-satislari-y-artti/> (Erişim Tarihi: 28.04.2020)
- Web6, (2020). http://tehad.org/wp-content/uploads/2020/04/EY-TEHAD-EV-%C3%87al%C4%B1%C5%9Ftay%C4%B1-Raporu_vFINAL-1.pdf (Erişim Tarihi: 28.04.2020)
- Web7, <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/LTC6802-2.pdf> (Erişim Tarihi: 20.04.2020).
- Web8, <https://www.direnc.net/ds18b20-sicaklik-sensoru> (Erişim Tarihi: 29.04.2020).

Web9, Sarıkurt, T. (2017). Batarya Yönetim Sistemleri - TÜBİTAK Efficiency Challenge. <https://challenge.tubitak.gov.tr/assets/batarya-yonetim-sistemleri.pdf> (Erişim Tarihi: 20.03.2020).

Yıldız, A., Özel, M., Kopmaz, o., (2019). Farklı Güç Aktarma Sistemlerine Sahip Hidrojen Enerjili Elektrikli Araçların Enerji Tüketimi ve Geri Kazanımlarının Karşılaştırılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(2), 91-102.

Yong, J.Y., Ramachandaramurthy, V.K., Tan, K.M., Mithulananthan, N., (2015). A Review on the State-of-the-Art Technologies of Electric Vehicle, Its Impacts and Prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 365-385.



EKLER

EK-1 ARDUİNO PROGRAMI

```
/**
MELİHA RİGAN
*/

#include "SPI.h"                //SPI communication library
#include <DallasTemperature.h> // DS18B20 Temperature sensor library
#include <OneWire.h>
#include <Wire.h>

//Setting
#define DATA_WIRE 2 // define the temperature sensor pin
OneWire oneWire(DATA_WIRE); // start the communication between the each
temperature sensors
DallasTemperature sensors(&oneWire);
float maximum;
int indexOfMax;
int no_of_sensors;

#define TOPSTACK 0x82 // set BMS to 3 boards with top of stack address of 0010
#define BOTTOMSTACK 0x80 // bottom bms board address 0000
#define TOTALCELLS 9 // Set total cell number to 27
#define WRCFG 0x01 //Write Configuration
#define TOTALBOARDS 1 // set total board number to 3
#define RDCFG 0x02 // Read config
#define RDCV 0x04 // Read cells
#define STCVAD 0x10 // Start all A/D's - poll status
#define RDFLG 0x06 //Read Flags
#define RDTMP 0x08 //Read Temperatures
#define STCDC 0x60 //A/D converter and poll Status
#define STOWAD 0x20 //Start Test - poll status
#define STTMPAD 0x30

#define LOWVOLTAGEWARNING 2.7 // define the low voltage level
#define LOWVOLTAGECUTOFF 2.3 // define the critical low voltage level
```



```

#define HIGHVOLTAGECUTOFF 4.2 // define the high voltagecut off level
#define buzzerRelay 6 // define the buzzer pin
#define fanRelay 7 // define the fun pin
#define contactorRelay 8 // define the relay pin
// Definition of all constants
byte address;
float cellVoltage[TOTALCELLS + 1];
byte volt[18];
float voltage[TOTALCELLS + 1];
float voltageAverage;
float voltageTotal;
float voltageHighest;
int highestCellNumber;
float voltageLowest;
int lowestCellNumber;
byte byteTemp;
int cellmaxxx;
float maxxx;
int valuee;
float voltagee;
String speedd;
byte CFGR1 = 0x00;
byte CFGR2 = 0x00;
float tempC,tempC1,tempC2,tempC3,tempC4,tempC5,tempC6,tempC7,tempC8,ds18b20;
//Function Declaration
float vTotal();
void balanceCells();
int startBalance();
void writeReg();
void readReg();
void readV();
int highestCell();
int lowestCell();
int startBalance();

```

```

String string;
void setup()
{
    // SPI configuration
    pinMode(fanRelay, OUTPUT);
    pinMode(buzzerRelay, OUTPUT);
    pinMode(contactorRelay, OUTPUT);
    sensors.begin();
    no_of_sensors = sensors.getDeviceCount();
    pinMode(10, OUTPUT); //53 *** SPI SS
    pinMode(11, OUTPUT); //51 *** SPI MOSI
    pinMode(12, INPUT); //50 *** SPI MISO
    pinMode(13, OUTPUT); //52 *** SPI CLK
    digitalWrite(10, HIGH); // close the ss
    SPI.setBitOrder(MSBFIRST);
    SPI.setDataMode(SPI_MODE3);
    SPI.setClockDivider(SPI_CLOCK_DIV16); // define the clock divider
    SPI.begin();
    Serial.begin(9600);
    writeReg();
}
void loop()
{
    writeReg();
    readV();
    temperaturee();
    highestCellNumber = highestCell();
    lowestCellNumber = lowestCell();
    delay(1000);
    Serial.print("n0.val=");
    delay(20);
    Serial.print(highestCellNumber);
    delay(20);
    Serial.write(0xff);
}

```

```
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
delay(1000);
delay(1000);
Serial.print("n1.val=");
delay(20);
Serial.print(lowestCellNumber);
delay(20);
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
    delay(1000);
delay(1000);
Serial.print("t0.txt=\");
delay(1);
Serial.print(tempC);
Serial.print("\");
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
delay(1000);
Serial.print("t1.txt=\");
delay(1);
Serial.print(tempC1);
Serial.print("\");
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
delay(1000);
delay(1000);
Serial.print("t2.txt=\");
delay(1);
Serial.print(tempC2);
Serial.print("\");
```

```
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
delay(1000);
Serial.print("t3.txt=\");
delay(1);
Serial.print(tempC3);
Serial.print("\");
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
delay(1000);
delay(1000);
Serial.print("t4.txt=\");
delay(1);
Serial.print(tempC4);
Serial.print("\");
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
delay(1000);
Serial.print("t5.txt=\");
delay(1);
Serial.print(tempC5);
Serial.print("\");
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
delay(1000);
delay(1000);
Serial.print("t6.txt=\");
delay(1);
Serial.print(tempC6);
Serial.print("\");
```

```

Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
delay(1000);
Serial.print("t7.txt=\");
delay(1);
Serial.print(tempC7);
Serial.print("\");
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
delay(1000);
delay(1000);
Serial.print("t8.txt=\");
delay(1);
Serial.print(tempC8);
Serial.print("\");
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
delay(1000);
}

void writeReg()
{
// Serial.println("Writing config...");  ekran duruman göre eklenecek
address = BOTTOMSTACK;
for (int boardNumber = 0; boardNumber < TOTALBOARDS; boardNumber++)
{
digitalWrite(10, LOW);
SPI.transfer(address);
SPI.transfer(WRCFG);
SPI.transfer(0x01);// 0
SPI.transfer(CFGR1);// 1
SPI.transfer(CFGR2);// 2

```

```

    SPI.transfer(0x00); // 3
    SPI.transfer(0x71); // 4
    SPI.transfer(0xAB); // 5
    digitalWrite(10, HIGH);
    address++;
}
}
void readReg()
{
    address = BOTTOMSTACK;
    for (int boardNumber = 0; boardNumber < TOTALBOARDS; boardNumber++)
    {
        // Serial.println("Reading config...");
        digitalWrite(10, LOW);
        SPI.transfer(address);
        SPI.transfer(RDCFG);
        for (int i = 0; i < 6; i++)
        {
            digitalWrite(10, HIGH);
            address++;
        }
    }
}
void readV() // read CELL VOLTAGE
{
    digitalWrite(10, LOW);
    SPI.transfer(STCVAD);
    delay(20); // wait at least 12ms as per data sheet, p.24
    digitalWrite(10, HIGH);
    address = BOTTOMSTACK;
    for (int boardNumber = 0; boardNumber < TOTALBOARDS; boardNumber++)
    {
        digitalWrite(10, LOW);
        SPI.transfer(address);
        SPI.transfer(RDCV);
    }
}

```

```

for (int j = 0; j < 18; j++)
{
    volt[j] = SPI.transfer(RDCV);
}
digitalWrite(10, HIGH);
//Serial.print("adress= ");
//Serial.println(address);
for (int i = 1; i <= 9; i++)
{
    int x = i + 9 * boardNumber;
    //Serial.print("cell volt ");
    //Serial.print(x);
    //Serial.print("=");
    if (i == 1)
    {
        voltage[x] = ((volt[0] & 0xFF) | (volt[1] & 0x0F) << 8) * 1.5 * 0.001;
tempC = voltage[x];
    }
    if (i == 2)
    {
        voltage[x] = ((volt[1] & 0xF0) >> 4 | (volt[2] & 0xFF) << 4) * 1.5 * 0.001;
tempC1 = voltage[x];
    }
    if (i == 3)
    {
        voltage[x] = ((volt[3] & 0xFF) | (volt[4] & 0x0F) << 8) * 1.5 * 0.001;
tempC2 = voltage[x];
    }
    if (i == 4)
    {
        voltage[x] = ((volt[4] & 0xF0) >> 4 | (volt[5] & 0xFF) << 4) * 1.5 * 0.001;
tempC3 = voltage[x];
    }
    if (i == 5)

```

```

    {
        voltage[x] = ((volt[6] & 0xFF) | (volt[7] & 0x0F) << 8) * 1.5 * 0.001;
tempC4 = voltage[x];
    }
    if (i == 6)
    {
        voltage[x] = ((volt[7] & 0xF0) >> 4 | (volt[8] & 0xFF) << 4) * 1.5 * 0.001;
tempC5 = voltage[x];
    }
    if (i == 7)
    {
        voltage[x] = ((volt[9] & 0xFF) | (volt[10] & 0x0F) << 8) * 1.5 * 0.001;
tempC6 = voltage[x];
    }
    if (i == 8)
    {
        voltage[x] = ((volt[10] & 0xF0) >> 4 | (volt[11] & 0xFF) << 4) * 1.5 * 0.001;
tempC7 = voltage[x];
    }
    if (i == 9)
    {
        voltage[x] = ((volt[12] & 0xFF) | (volt[13] & 0x0F) << 8) * 1.5 * 0.001;
tempC8 = voltage[x];
    }
    }
    address++;
}
for (int i = 1; i <= TOTALCELLS; i++)
{
    cellVoltage[i] = voltage[i];
}
}
// CHOOSE VTotal and total of each BMS voltage
float vTotal() {

```



```

float total = 0;
float subtotal[2] = {0};
for (int i = 1; i <= TOTALCELLS; i++)
{
    total = total + cellVoltage[i];
    if (i >= 1 && i <= 7)
    {
        subtotal[0] = subtotal[0] + cellVoltage[i];
    }
    if (i >= 8 && i <= 14)
    {
        subtotal[1] = subtotal[1] + cellVoltage[i];
    }
}
for (int j = 0; j <= 1; j++)
{
    if (maxxx < subtotal[j])
    {
        maxxx = subtotal[j];
        cellmaxxx = j;
    }
}
return total;
}

int highestCell()
{
    voltageHighest = 0;

    int cellNumber;
    for (int i = 1; i <= TOTALCELLS; i++)
    {
        if (cellVoltage[i] > voltageHighest)
        {
            voltageHighest = cellVoltage[i];

```

```

        cellNumber = i;
    delay(1000);
    Serial.print("t28.txt=\");
    delay(1);
    Serial.print(voltageHighest);
    Serial.print("\");
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    delay(1000);
    }
    }
    return cellNumber;
}
int lowestCell()
{
    voltageLowest = 4.9;
    int cellNumber;
    for (int i = 1; i <= TOTALCELLS; i++)
    {
        if (cellVoltage [i] < voltageLowest)
        {
            voltageLowest = cellVoltage[i];
            cellNumber = i;
        }
    }
    delay(1000);
    Serial.print("t29.txt=\");
    delay(1);
    Serial.print(voltageLowest);
    Serial.print("\");
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff);
    delay(1000);
    }
}

```

```

    }
    return cellNumber;
}

void balanceCells()
{
    CFGR1 = 0x00;
    CFGR2 = 0x00;
    int x;
    byte temp;
    address = BOTTOMSTACK;
    float difference[TOTALCELLS];
    for (int i = 1; i <= TOTALCELLS; i++)
    {
        difference[i] = cellVoltage[i] - cellVoltage[lowestCell()];
        //Serial.print("cell ");
        //Serial.print(i);
        //Serial.print(" difference is; ");
        //Serial.println(difference[i]);
    }
    for (int boardNumber = 0; boardNumber < TOTALBOARDS; boardNumber++)
    {
        CFGR1 = 0x00;
        CFGR2 = 0x00;
        for (int i = 1; i <= 9; i++)
        {
            int cellNumber = i + (boardNumber * 9);
            if (i <= 8)
            {
                if (difference[cellNumber] > 0.03)
                {
                    x = i - 1;
                    temp = 0x01;
                    temp = temp << x;
                    CFGR1 = CFGR1 + temp;
                }
            }
        }
    }
}

```

```

        //Serial.print("Cell ");
        //Serial.print(cellNumber);
        //Serial.print("should be shunt ");
        //Serial.print("CFGR1 is ");
        //Serial.println(CFGR1, HEX);
    }
}
else
{
    if (difference[cellNumber] > 0.03)
    {
        x = i - 9;
        temp = 0x01;
temp = temp << x;
        CFGR2 = CFGR2 + temp;
        //Serial.print("Cell ");
        //Serial.print(cellNumber);
        //Serial.print("should be shunt ");
        //Serial.print("CFGR2 is");
        //Serial.println(CFGR2, HEX);
    }
}
}
writeReg();
address++;
}
}

void temperaturee()
    maximum = sensors.getTempCByIndex(0);    //Assigns the value of device 0th to the
variable maximum.
    indexOfMax = 0;
    for (int i = 0 ; i < no_of_sensors ; i++ )
    {
        maximum = sensors.getTempCByIndex(i);

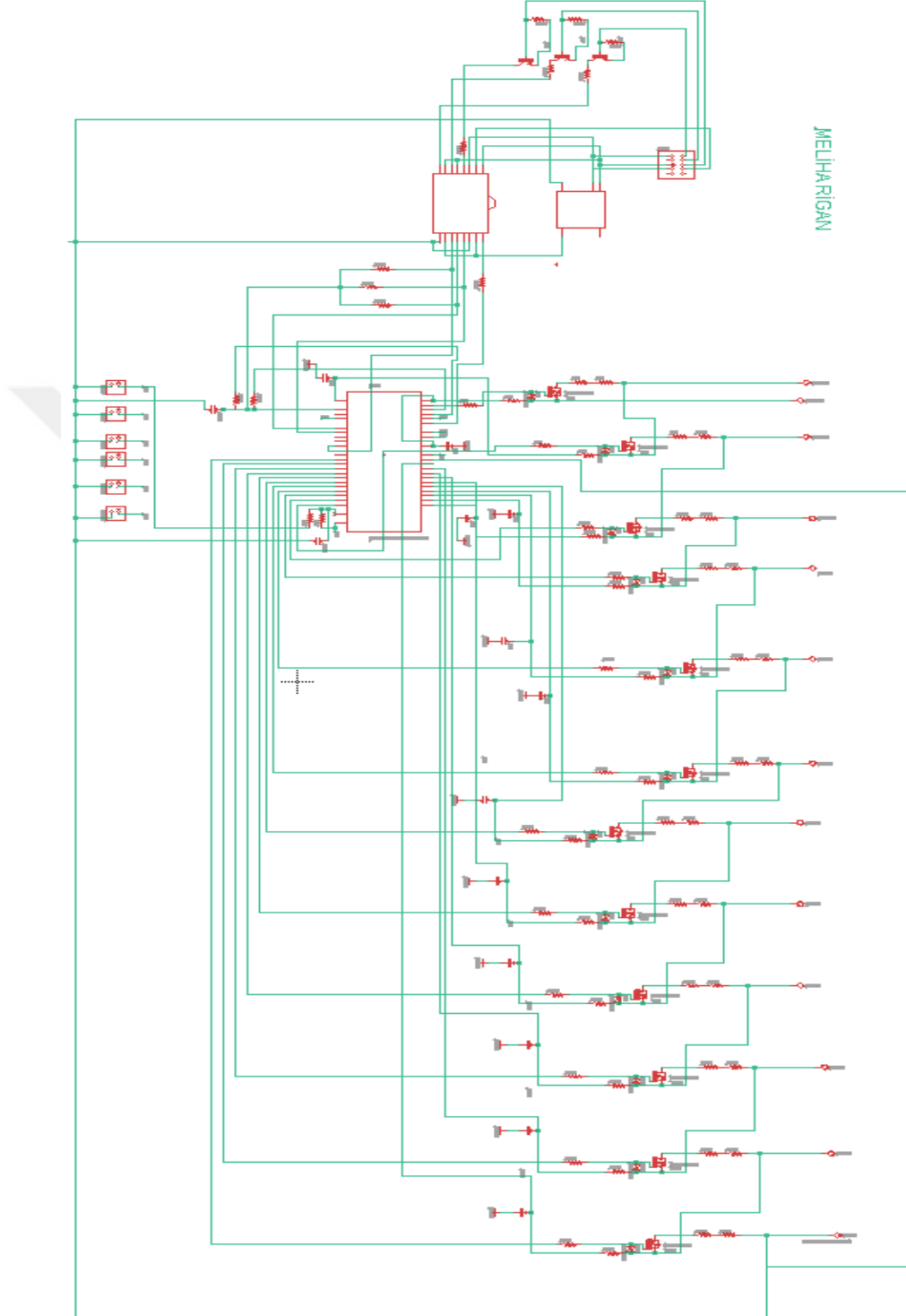
```

```

        indexOfMax = i;
    }
}
Serial.print("t12.txt=\");
delay(1);
Serial.print(maximum);
Serial.print("\");
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
delay(1000);
    digitalWrite(fanRelay, HIGH);
    digitalWrite(buzzerRelay, HIGH);
}
else if (maximum > 40)
{
    digitalWrite(fanRelay, HIGH);
    digitalWrite(buzzerRelay, LOW);
}
else
{
    digitalWrite(fanRelay, LOW);
    digitalWrite(buzzerRelay, LOW);
}
}

```

EK-2 LTC6802-2 Entegresinin Açık Devre Şeması



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Meliha RİGAN
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 10.08.1996, HATAY / Dörtyol
Medeni hali : Bekar
E posta : meliha.rigan1@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	KSÜ/Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı	2020
Lisans	KSÜ/Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü	2018
Lise	Süleyman Demirel Anadolu Lisesi	2014

Yabancı Dil

İngilizce

Bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler

Rigan M., Keçecioglu Ö.F., Gani A., Şekkeli M., “Negatif Çıkışlı LUO Dönüştürücünün Analizi ve Denetimi” *Uluslararası İleri Mühendislik Teknolojileri Sempozyumu (İSADET)*, 2-4 Mayıs 2019, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye.

Projeler

KSÜ BAP projesi, “*Elektrikli Araçlarda Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı*” Proje No: 2020/1-3 YLS.