



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



PLC KONTROLLÜ BATARYA YÖNETİM
SİSTEMİ TASARIMI

Önder ORBEYİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Önder ORBEYİ
21.07.2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PLC KONTROLLÜ BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI

Önder ORBEYİ

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mustafa YAĞCI

2022, 93 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Mustafa YAĞCI

Doç. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA

Dr. Öğr. Üyesi Mümtaz MUTLUER

Yakın geçmişten itibaren, geleneksel içten yanmalı motor teknolojisine sahip araçlarda kullanılan fosil yakıtların çevreye olan çok sayıda zararlı etkileri, sınırlı rezervleri ve ayrıca gelişmemiş veya gelişmekte olan ülkelerde yaşanan fosil yakıt fiyat artışları gibi olumsuz sebepler, güç ihtiyacını bataryalardan karşılayan elektrikli araç teknolojilerine olan ilgiyi yüksek seviyelere çıkarmıştır. Yani batarya teknolojisinin, elektrikli araç teknolojisinde başrol görevini üstlenen teknoloji olduğunu söylemek mümkündür. Ayrıca yenilenebilir enerji sistemlerinin gelişmesiyle beraber ortaya çıkan, daha temiz enerji hedeflerinden dolayı gündemde olan karbon sıfır politikası da temiz enerji sistemlerine kolayca uyum sağlayan enerji depolama sistemlerine olan ilgiyi arttırmaktadır. Diğer taraftan dünya genelinde, enerji ihtiyacının sürekli artmasıyla beraber enerji arz sorunu yaşanmaktadır, bu kapsamda enerji arz sorununu çözebilme ve enerji yeterliliğini sağlamak için enerji depolama sistemleri ön plana çıkmaktadır. Elektrikli araç teknolojilerindeki gelişmeler, temiz enerji politikaları ve enerji arz sürekliliğinin sağlanması hedefi gibi nedenlerden dolayı popüler hale gelen enerji depolama sistemlerinin verimli ve güvenli şekilde kullanılması gerekmektedir. Bu yüzden, enerji depolama sistemlerinde kullanılan batarya teknolojilerinin yüksek verim ve yüksek güvenlikte çalışması için Batarya Yönetim Sistemi (BYS) kullanılması çok önemli bir gereksinimdir.

Bu tez çalışmasında, başta elektrikli araçlar olmak üzere diğer enerji depolama sistemlerinde de çok fazla tercih edilen Li-ion tabanlı bataryalar kullanılmıştır. Günümüzde, BYS'ler genel olarak güç elektroniğinden yararlanılarak tasarlanmış elektronik kartlar, entegreler ve yardımcı donanımlarından oluşan kontrolcüler ile tasarlanmıştır. Geleneksel yöntemlerden farklı olarak Programlanabilir Lojik Kontrolcü (PLC), analog-dijital kontrolcü modülleri ve yardımcı donanımlardan oluşan bir pasif dengelemeli BYS tasarlanmış, uygulama devresi kurulmuş ve testleri yapılmıştır. PLC'yi programlamak için, Ladder Diagram (LD) olarak bilinen programlama dili ile yazılım yazılmıştır. Geleneksel BYS'lerde sınırlı sayıda batarya hücresi ve sınırlı akım değerleri kontrol edilebilmektedir ve her batarya paketi için ayrı bir kontrolcü kullanılmaktadır. Çalışmada kullanılan PLC kontrolcü ve algoritması sayesinde tek bir kontrolcü ile birden çok sayıda batarya paketi kontrol edilebilmekte ve daha yüksek akım değerlerinde işlem yapılabilir. Bu avantajı sayesinde PLC kontrollü BYS daha geniş kontrol kapasitesi ile öne çıkmaktadır. Geleneksel yöntemlerde kullanılan kontrolcüler küçük boyutlardadır ve batarya paketlerin içerisine dahil edilebilmektedir. Ancak PLC kontrolcü ile tasarlanan BYS'ler ise daha büyük hacimlidir ve BYS donanımı için harici bir alan ihtiyacı doğurmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Batarya, batarya yönetim sistemi, elektrikli araç, Li-ion, pasif dengeleme, sıcaklık kontrol yöntemi.

ABSTRACT

MS THESIS

PLC CONTROLLED BATTERY MANAGEMENT SYSTEM DESIGN

Önder ORBEYİ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa YAĞCI

2022, 93 Pages

Jury

**Assoc. Prof. Dr. Mustafa YAĞCI
Assoc. Prof. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA
Dr. Mümtaz MUTLUER**

Since the recent past, fossil fuels used in vehicles with traditional internal combustion engine technology; a lot of harmful effects on the environment, limited reserves and besides fossil fuel price increases in underdeveloped or developing countries like this negative reasons have increased the interest in electric vehicle technologies that meet their power needs from batteries. In other words, it is possible to say that battery technology is the technology that plays the leading role in electric vehicle technology. In addition, the carbon zero policy, which emerged with the development of renewable energy systems and is on the agenda due to cleaner energy targets, increases the interest in energy storage systems that easily adapt to clean energy systems. On the other hand, there is an energy supply problem with the continuous increase in energy demand throughout the world, in this context, energy storage systems come to the fore in order to solve the energy supply problem and ensure energy efficiency. Energy storage systems, which have become popular due to developments in electric vehicle technologies, clean energy policies and the goal of ensuring energy supply continuity, need to be used efficiently and safely. Therefore, the use of Battery Management System (BMS) is a very important requirement for battery technologies to work with high efficiency and safety.

In this thesis, Li-ion based batteries, which are very preferred in other energy storage systems, especially in electric vehicles, have been used. Today, BMSs are generally designed with electronic boards designed using power electronics, integrated controllers and auxiliary equipments. Unlike traditional methods, a passive balanced BMS consisting of a Programmable Logic Controller (PLC), analog-digital controller modules and auxiliary equipment, which has not been used much before, was designed, the application circuit was established and tested. In order to program the PLC, software is written with the programming language known as Ladder Diagram (LD). In traditional BMSs, limited number of battery cells and limited current values can be controlled and a separate controller is used for each battery pack. Thanks to the PLC controller and algorithm used in study, multiple battery packs can be controlled with a single controller and higher current values can be used. Thanks to this advantage, it stands out with its wider control capacity. Controllers used in traditional methods are small in size and can be included in battery packs. But BMSs designed with PLC controllers are larger in volume and require an external area where the BMS equipment can be located.

Keywords: Battery, battery management system, electric vehicle, Li-ion, passive balancing, temperature control method.

ÖNSÖZ

Hayatım boyunca maddi ve manevi destekleri ile her zaman yanımda olan ve yolumu aydınlatan canım babama ve canım anneme sonsuz şükranlarımı sunar, teşekkür ederim.

Ayrıca bu tez çalışması boyunca engin bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Mustafa YAĞCI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Canım kardeşlerime sevgilerimle.

Önder ORBEYİ
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Elektrikli Araçlar ve Diğer Enerji Depolama Sistemlerinde Yaygın Olarak Kullanılan Batarya Çeşitleri.....	5
1.1.1. Lityum İyon Batarya (Li-ion)	5
1.1.2. Lityum İyon Polimer Batarya (LiPo).....	8
1.1.3. Lityum Demir Fosfat Batarya (LiFePO ₄)	9
1.1.4. Lityum Sülfür Batarya (LiS).....	10
1.1.5. Kurşun Asit batarya (Pb-Asit)	10
1.1.6. Nikel Kadmiyum Batarya (NiCd).....	11
1.1.7. Nikel Metal Hidrat Batarya (NiMH)	12
1.2. Batarya Yönetim Sistemi (BYS).....	13
1.3. Batarya Yönetim Sistemi Görevleri.....	14
1.3.1. Batarya Paketini İzleme Görevi	15
1.3.2. Teşhis ve Kestirim Görevi	16
1.3.3. Veri Yönetimi Görevi	19
1.3.4. Şarj Deşarj Yönetimi Görevi	20
1.3.5. Koruma Görevi	20
1.4. Batarya Yönetim Sistemi Türleri	21
1.4.1. Merkezi Tip Batarya Yönetim Sistemi	21
1.4.2. Modüler Tip Batarya Yönetim Sistemi.....	21
1.4.3. Ana Kontrolcü-Yardımcı Kontrolcü Tip Batarya Yönetim Sistemi	22
1.4.4. Dağıtılmış Tip Batarya Yönetim Sistemi (Merkezi Olmayan Tip)	22
1.5. BYS Hücre Gerilimleri Dengeleme Tekniği ve Yöntemleri	23
1.5.1. Pasif Dengeleme Yöntemleri	25
1.5.1.1. Anahtarlamasız Sabit Dirençli Pasif Dengeleme Yöntemi.....	26
1.5.1.2. Anahtarlamalı Sabit Dirençli Pasif Dengeleme Yöntemi	26
1.5.2. Aktif Dengeleme	27
1.5.2.1. Kapasitörlü Aktif Hücre Dengeleme Yöntemleri	27
1.5.2.1.1. Anahtarlamalı Kapasitör Yöntemi	27
1.5.2.1.2. Tek Anahtarlamalı Kapasitör Yöntemi.....	28
1.5.2.1.3. Çift Anahtarlamalı Kapasitör Yöntemi.....	29
1.5.2.1.4. Modülerize Kapasitörlerle Dengeleme Yöntemi	30

1.5.2.2. İndüktörlü ve Transformatörlü Aktif Hücre Dengeleme Yöntemleri	31
1.5.2.2.1. Tekli ve Çoklu İndüktör Yöntemi.....	31
1.5.2.2.2. Tek Sarımlı Transformatör Yöntemi	32
1.5.2.2.3. Çok Sarımlı Transformatör Yöntemi.....	33
1.5.2.3. Diğer Aktif Hücre Dengeleme Yöntemleri.....	33
1.5.2.3.1. Paralel Transistör Yöntemi	34
1.5.2.3.2. Tamamen Devreden Çıkarma Yöntemi	34
1.5.3. Hücre Dengeleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	35
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	36
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	42
3.1. Yöntem.....	42
3.1.1. Anahtarlamalı Dirençli Pasif Dengeleme (ADPD) Tekniği Yöntemi	42
3.1.2. Sıcaklık Kontrolü Yöntemi	46
3.2. Tasarım	46
3.2.1. Bataryada Kullanılan Li-Ion Pil.....	46
3.2.2. Kontrolcü ve Yardımcı Elemanları.....	47
3.2.2.1. PLC Kontrolcü ve Giriş-Çıkış (I/O) Modülleri	47
3.2.2.2. Analog Modül	50
3.2.2.3. HMI Görüntüleme Sistemi.....	51
3.2.3. DC Güç Kaynağı.....	53
3.2.4. Batarya Şarj Cihazı	53
3.2.5. Dengeleme Dirençleri	53
3.2.6. İnce Röleler (Anahtarlama Elemanları)	54
3.2.7. LM35 Sıcaklık Sensörü	55
3.2.8. LM35 Sıcaklık Sensörü Dönüşüm Modülü	58
3.2.9. Soğutucu Fan	59
3.3. BYS Ana Devre Şeması.....	60
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	61
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	66
5.1. Sonuçlar	66
5.2. Öneriler	67
6. KAYNAKLAR	69
EKLER	73

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Amper
Ah	: Amper Hour (Amper Saat)
B	: Batarya
C	: Capacitor (Kapasitör)
Cd	: Kadmiyum
Cd(OH) ₂	: Kadmiyum Hidroksit
cm	: Centimeter (Santimetre)
C _M	: Batarya Mevcut Kapasite
C _N	: Batarya Fabrika Çıkış Kapasitesi (Başlangıç Kapasitesi)
D	: Diyot
GΩ	: Gigaohm
H ₂ SO ₄	: Sülfürik Asit
KOH	: Potasyum Hidroksit
kV	: Kilovolt
Li	: Lityum
LiCoO ₂	: Lityum Kobalt Oksit
LiFePO ₄	: Lityum Demir Fosfat
LiMn ₂ O ₂	: Lityum Manganez Oksit
LiNiO ₂	: Lityum Nikel Oksit
LiPo	: Lityum İyon Polimer
LiS	: Lityum Sülfür
mA	: Miliamper
mV	: Milivolt
MΩ	: Megaohm
NiCd	: Nikel Kadmiyum
NiMH	: Nikel Metal Hidrat Batarya
Ni(OH) ₂	: Nikel Hidroksit
NiOOH	: Nikel Oksihidroksit
Pb	: Kurşun
PbO ₂	: Kurşun Dioksit
R	: Resistance (Direnç)
W	: Watt
V	: Volt
°C	: Celsius
D	: Coulombik Verim
μA	: Mikro amper
Ω	: Ohm

Kısaltmalar

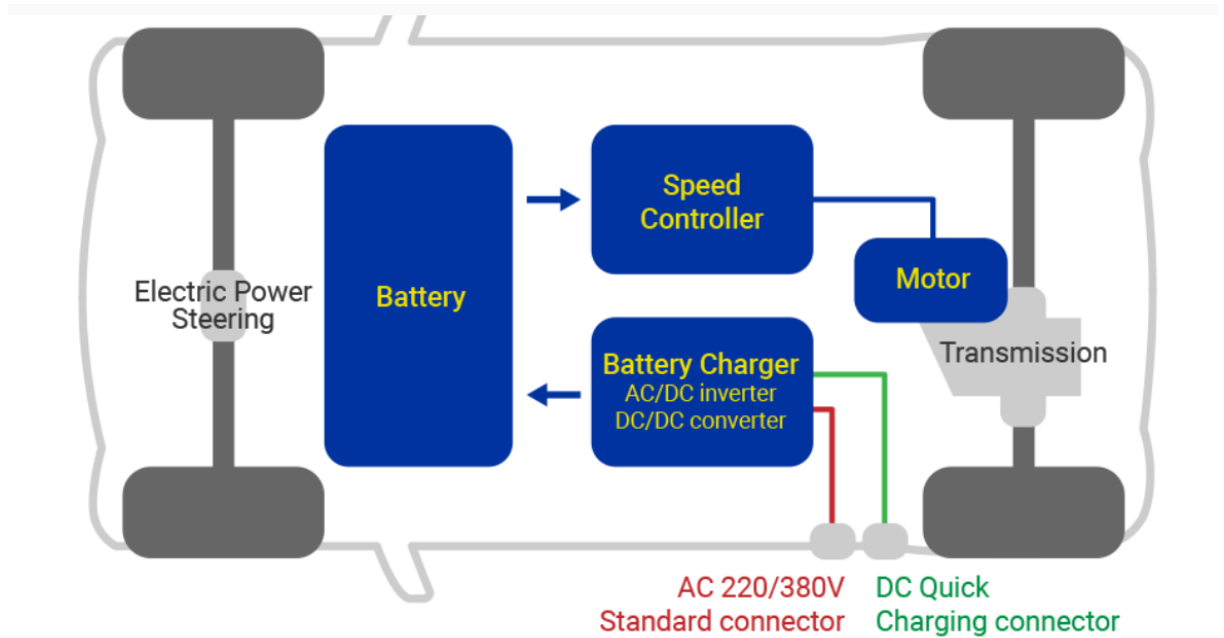
AC	: Alternative Current (Alternatif Akım)
ADPD	: Anahtarlama Dirençli Pasif Dengeleme
ARGE	: Araştırma Geliştirme
BDK	: Baskılı Devre Kartı
BYS	: Batarya Yönetim Sistemi
CAN	: Controller Area Network (Kontrol Alan Ağı)
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
DVR	: Destek Vektör Regresyonu
GND	: Ground (Toprak)
GSSA	: Genelleştirilmiş Durum Uzay Ortalama
HMI	: Human Machine Interface (İnsan Makine/Sistem Arayüzü)
LD	: Ladder Diagram
MATLAB	: Matrix Laboratory
NPN	: Negatif Pozitif Negatif
PCB	: Printed Circuit Board
PLC	: Programmable Logic Controller (Programlanabilir Lojik Kontrolcü)
PNP	: Pozitif Negatif Pozitif
PWM	: Pulse Width Modulation (Sinyal Genişlik Modülasyonu)
SOC	: State of Charge (Batarya Dolum Durumu)
SOH	: State of Health (Batarya Sağlık Durumu)
SVR	: Support Vector Regression
3S	: 3 Sell (3 Hücreli)

1. GİRİŞ

Günümüzde çoğu otoritenin üzerinde durduğu en önemli konu başlıklarından biri tartışmasız enerji, enerji üretimi ve enerjinin kullanılmasıdır. Enerji konusu hassasiyetle incelenirken enerji için kullanılan kaynakların doğru seçilmesi gelecek yaşam için ön plana çıkmaktadır, çünkü geçmişten günümüze kullanılan fosil yakıtların zararlı etkileri göz önüne alındığında, dünyayı daha yaşanabilir kılmak ve daha temiz bir dünyada yaşamak için tüketilen enerji kaynaklarının zararlı etkileri göz ardı edilemez olmuştur. Enerji üretiminde kullanılan fosil yakıtların küresel ısınma, iklim değişiklikleri, çölleşme, su kaynaklarının kirlenmesi, göçler ve hava kirliliği gibi küçümsenemeyecek zararlı etkileri vardır. Bundan dolayı bu zararlı etkileri en aza indirmek adına, teknolojinin gelişmesiyle beraber yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji elde edilmesi konusunda daha büyük adımlar atılmaya başlanmıştır. Rüzgar gücünden enerji üretimi yapabilmek için rüzgar türbinleri, çeşitli kanat modelleri ile tasarlanmıştır, güneşten enerji elde edebilmek için silisyum, kadmiyum, tellür gibi maddeler kullanılarak polikristal, monokristal ya da ince film yapılarında çeşitli güneş panelleri tasarlanmıştır ve su gücünden yararlanmak için Pelton, Francis ya da Kaplan gibi farklı modellerde türbin çarkları üretilmiştir. Bütün bu gelişmeler sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarından temiz enerji elde edilerek fosil yakıtların kullanım oranı düşürülerek zararlı etkileri azaltılmıştır.

Fosil yakıtların etkilerini azaltmak için yaygınlaşan yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji evlerimizde, sanayide ve ulaşım sektörü gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının artışıyla beraber enerji depolama sistemleri de yaygınlaşmıştır. Fosil yakıtların zararlı etkilerinin görüldüğü en önemli sektörlerden biri de ulaşım araçlarıdır. Ulaşım araçlarında fosil yakıtların etkilerini en aza indirmek ve hatta yok etmek için elektrikli araç teknolojileri geliştirilmiştir. Geleneksel araçların enerji kaynağı olarak kullandığı fosil kaynakların yerine, elektrik enerjisi kullanılarak daha temiz, az gürültülü ve ayrıca ekonomik açıdan daha uygun bir ulaşım imkânı elde edilebileceği anlaşılmıştır (Richardson, D. B., 2013). Bu kapsamda tam elektrikle ya da hibrit yakıt teknolojisi ile çalışabilen araçlar üretilmiştir. Geleneksel içten yanmalı motor kullanılan araçlarda mekanik enerji fosil yakıtlardan sağlanır, elektrik motorlu elektrikli araçlarda ise mekanik enerji ve diğer tüm iç ihtiyaçlar depolama sistemlerinde depolanan elektrik enerjisi ile sağlanır.

Tam elektrikli araçlar sıfır emisyonludur, yani herhangi bir gaz salınımı olmayan araçlardır ve çok sessiz çalışırlar. Geleneksel içten yanmalı teknolojisi olan araçlara göre verimleri daha yüksektir. Elektrikli araçlar yaklaşık %46 verimle çalışabilirken, geleneksel araçlar ise %18-25 arasında verimle çalışabilmektedirler. Yani elektrikli araçlar harici şarj cihazından çekilen enerjinin %46'sını tahrik gücü olarak tekerleklerde işe dönüştürebilirken, buna karşılık olarak geleneksel araçlar ise yakıt depolarında bulunan yakıtın %18-25'ini tahrik gücü olarak tekerleklerde işe dönüştürebilir. Ancak bu avantajlarının yanında bataryaların pahalı olması, menzillerinin sınırlı olması ve şarj edilmelerinin uzun sürmesi elektrikli araçların bazı dezavantajlarındandır (Bağcı, S., 2011). Şekil 1.1'de elektrikli araçlar için tahrik sistemi detayı verilmektedir.



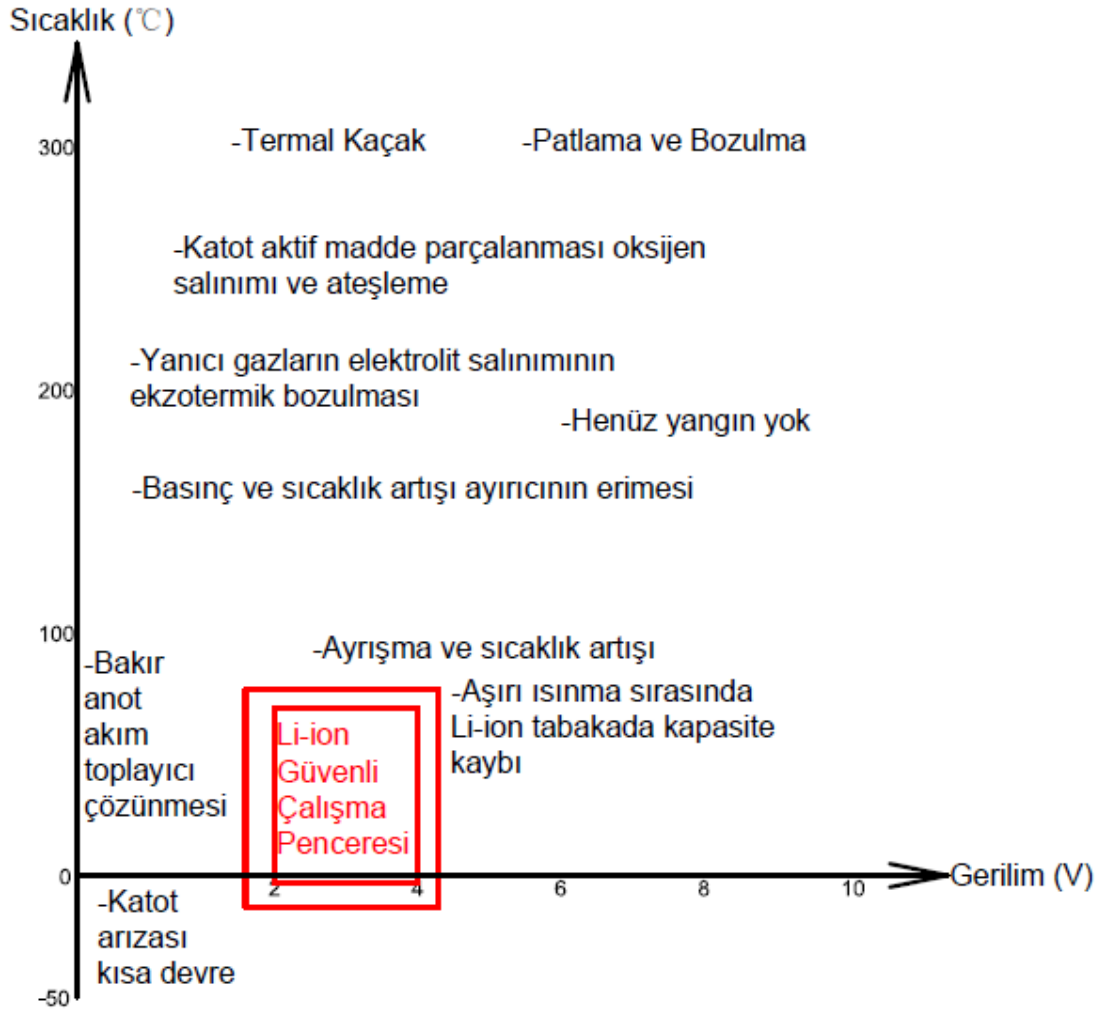
Şekil 1.1'de elektrikli araçlar için tahrik sistemi (Web 4)

Elektrikli araçlarda tahrik sistemine güç sağlanması ve buna bağlı mekanik enerji elde edilmesi, aracın menzili ve aracın ulaşabileceği hız limitleri gibi önemli parametreler büyük ölçüde depolama sistemi ile ilişkilidir, yani elektrikli araçlardaki en önemli birim depolama sistemidir denilebilir. Bundan dolayı enerji depolama sistemlerinin uzun ömürlü olması, enerjinin verimli ve güvenli bir şekilde kullanılması gereklidir, bu kapsamda ise Batarya Yönetim Sistemleri (BYS) ön plana çıkmaktadır. Bir depolama sisteminde kullanılan bataryanın yüksek verim ve güvenilirlikle çalışması için akıllı algoritmalar ile donatılmış kontrolcülere sahip olan BYS'ler akım, gerilim, sıcaklık, şarj durumu, deşarj durumu, arıza tahmini ve şarj-deşarj optimizasyonu gibi parametreleri

izler, verileri toplar, verileri işler ve depolama sisteminin en uygun formatta çalışmasını sağlar.

Özellikle batarya paketlerinde zamanla şarj-deşarj döngü kullanım sayılarının artması ve dış etkilerden dolayı hücreler arasında kapasite farklılıkları olmaktadır. Bir depolama sistemindeki bütün hücreler özdeş olsalar bile, kimyasal yapılarından dolayı hücrelerde kapasite farklılıkları ön görülen bir olaydır. Hücreler arasında oluşan bu kapasite farklılıkları hücrelerin eşit oranlarda şarj-deşarj olmalarını engellemekte ve bataryada dengesizlikler oluşmaktadır. Bu dengesizliklerden dolayı batarya ekonomik ömrü kısaldığı gibi, normal operasyonlar sırasında da verim azalmaktadır. Ayrıca sıcaklık faktörü de depolama sistemleri için hassas bir parametredir, şarj-deşarj reaksiyonları sırasında sıcaklık değerlerinin aşırı yükselmesi gibi bir durum yaşanabilmektedir. İşte hücrelerde oluşan gerilim dengesizlikleri ve aşırı sıcaklık gibi olumsuz durumlar verim düşümü ve ömür azalmasının yanında, yanma ve patlama gibi ekzotermik reaksiyonlara da sebep olarak güvenlik problemlerine sebep olabilmektedir. Bu kapsamda, olumsuz senaryoları engellemek ya da düzenlemek için depolama sistemlerinde BYS'lere mutlaka ihtiyaç duyulmaktadır. Depolama sistemlerinde hücre ömürlerini uzatmak, yüksek verim sağlamak ve istenmeyen güvenlik problemlerinin önüne geçmek için ana görev BYS'lerdedir.

Elektrikli araçlarda Li-ion tabanlı batarya teknolojileri yüksek oranda tercih edilmektedir. Li-ion batarya gruplarının en büyük sorunları ise aşırı dolma, tamamen boşalma ve güvenli sıcaklık sınırları dışına çıkma gibi bazı durumlarda çok çabuk arızalanmalarıdır. Bundan dolayı Li-ion tabanlı batarya teknolojisi kullanılan elektrikli araçlarda BYS kullanılması gerekmektedir (Baygüneş, B., 2019). Aksi takdirde yüksek verim beklemek mümkün değildir. Bu tez çalışmasında da Li-ion tabanlı batarya hücrelerinden oluşan bir BYS tasarlanmıştır. Şekil 1.2'de Li-ion bataryaların güvenli çalışma bölgeleri detaylandırılmıştır.



Şekil 1.2. Li-ion bataryaların güvenli çalışma bölgeleri (Lu, L. ve ark., 2012'den modifiye edilmiştir)

Bu tez çalışmasında birinci bölüm olan, giriş bölümünde elektrikli araçlar başta olmak üzere enerji depolama sistemlerinde kullanılan batarya çeşitleri, BYS çeşitleri ve BYS görevleri anlatılmıştır. İkinci bölümde literatürde yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde ise uygulanan yöntemler detaylandırılarak sistem algoritmaları anlatılmış, materyaller hakkında bilgilendirme yapılarak materyal bazında çizilen devre şemalarına ve BYS genel devre şemasına yer verilmiştir. Dördüncü bölümde, kurulan sistemde belirlenen teknikler uygulanarak testler yapılmış ve veriler kayıt altına alınmıştır. Son olarak beşinci bölümde ise uygulanan yöntemlerden sonuçlar çıkarılmış ve önerilerde bulunulmuştur.

1.1. Elektrikli Araçlar ve Diğer Enerji Depolama Sistemlerinde Yaygın Olarak Kullanılan Batarya Çeşitleri

Günümüzde teknolojik gelişmelerle beraber, enerji depolamak için kullanılan bataryalarda da büyük gelişmeler yaşanmaktadır. Başta elektrikli araçlar ve diğer enerji depolama sistemlerinde kullanılan bataryalar için yüksek enerji yoğunluğu, uzun ekonomik ömür, güvenlik, dayanıklılık ve tabii ki de düşük maliyet tercih sebebi olmaktadır. Enerjinin depolanmasında çoğunlukla Li-ion olmak üzere çeşitli yapılarda bataryalar kullanılmaktadır. Çizelge 1.1'de kullanılan ve halen geliştirme aşamaları devam eden bataryalar ve özellikleri verilmektedir.

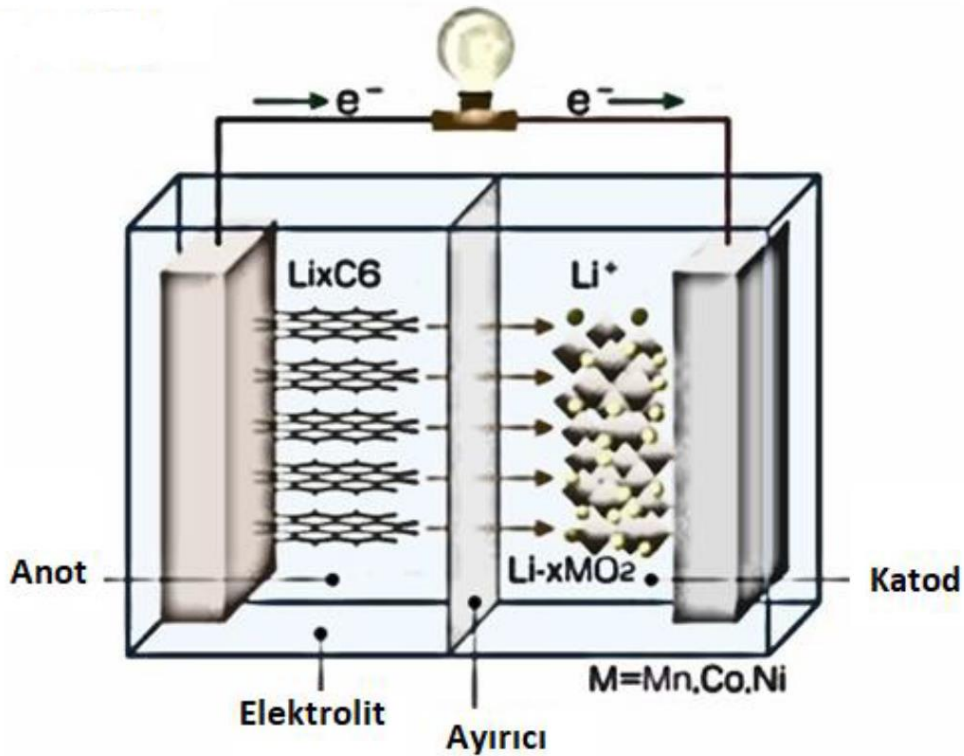
Çizelge 1.1. Enerji depolama sistemlerinde kullanılan bataryalar ve özellikleri (Yong ve ark., 2015)

Batarya Çeşitleri	Nominal Gerilim (V)	Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Çevrim Ömrü (Döngü Sayısı)	Hafıza Etkisi	Çalışma Sıcaklığı
Pb-acid	2	35	1000	Yok	-15, +50
NiMH	1,2	70-95	3000	Nadir	-20, +60
Zebra	2,6	90-120	1200	Yok	+245, +350
Li-ion	3,6	118-250	2000	Yok	-20, +60
LiPo	3,7	130-225	1200	Yok	-20, +60
LiFePO ₄	3,2	120	2000	Yok	-45, +70
Zn-air	1,65	460	200	Yok	-10, +55
Li-S	2,5	350-650	300	Yok	-60, +60
Li-air	2,9	1300-2000	100	Yok	-10, +70

1.1.1. Lityum İyon Batarya (Li-ion)

Bir Li-ion batarya hücresi negatif elektrot (anot), pozitif elektrot (katot), ayırıcı ve elektrotlar arasında iyonik bir yol görevi gören bir elektrolit olmak üzere, bu ana birimlerden oluşur. Li-iyon hücrelerin katotları lityum metal oksitlerden, anotlar karbon grafit malzemeden oluşmaktadır. Karbon grafit yapısında bulunan karbon yapı sayesinde yüksek miktarda lityum iyonu tutabilmektedir. Elektrolit yapı ise katı ya da jel yapıda olan, tuz emdirilmiş organik malzemelerdir, bu malzemenin en önemli özelliği, elektriksel olarak yalıtkan, Lityum (Li) iyonu için iletken bir yapıda olmasıdır. Li-ion

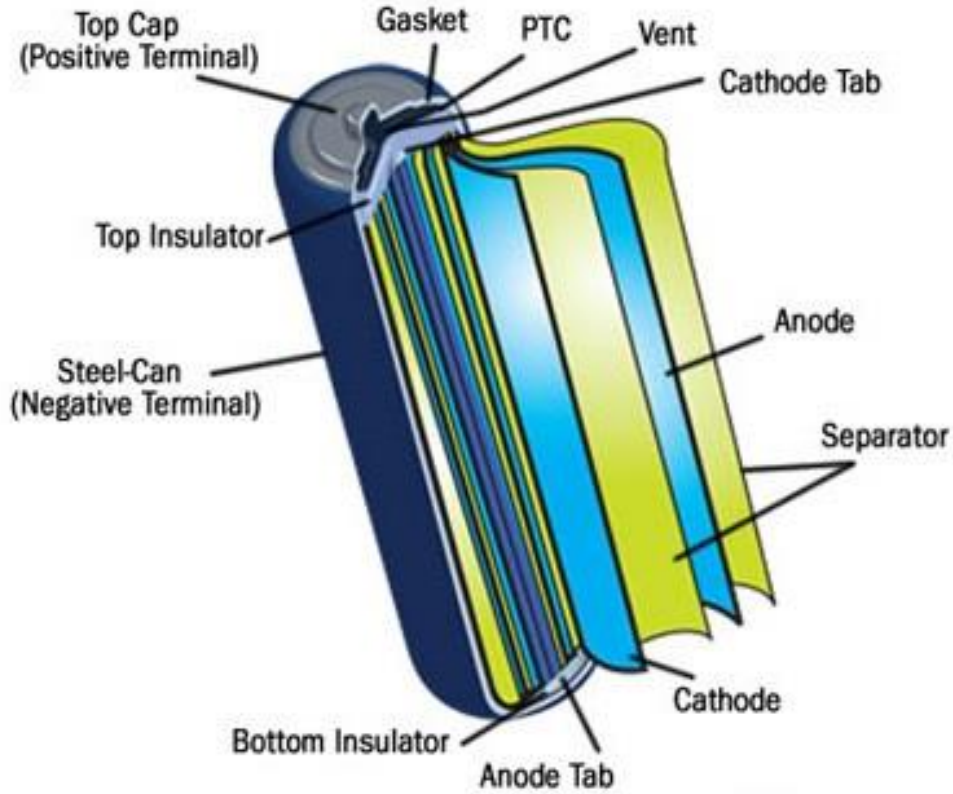
bataryalarda düşük maliyet ve yüksek ayrışma özelliklerinden dolayı Lityum elementlerinin metal ile oksitleri tercih edilmektedir. En yaygın Lityum metal oksitler Lityum Manganez Oksit (LiMn_2O_2), Lityum Kobalt Oksit (LiCoO_2) ve Lityum Nikel Oksit (LiNiO_2)'dir. Şarj sırasında lityum iyonlarının hareketi elektronların katottan (pozitif kutup) anoda (negatif) doğru hareket etmesi şeklinde gerçekleşir. Şekil 1.3'te deşarj olan bir Li-ion batarya hücresinin görünümü verilmektedir.



Şekil 1.3. Li-ion batarya hücresi (Özel, M.A., 2019)

Bütün depolama sistemlerinde zamanla batarya kapasitesinde azalmalar meydana gelir. Elektrikli araçlarda depolama sistemlerinde önemli hedeflerden biri uzun ömürlü pil kullanılmasıdır. Pil kapasitesi başlangıç değerinin %80 altına düşmeden önce, 500-1000 döngüyü tamamlamış olması beklenmektedir (Özel, M.A., 2019). Bunun mümkün olması için batarya paketinin BYS tarafından kontrol edilerek dengeli çalışma koşullarının sağlanması ve ayrıca batarya hücrelerinde kimyasal reaksiyonların düzgün bir formatta gerçekleşmesi gerekir. Li-ion bataryalarda hücre enerji potansiyeli ve enerji yoğunluğu reaktiflik ile doğru orantılıdır. Bundan dolayı elektrotlarda reaktiflik özelliği yüksek materyaller kullanılır. Ancak reaktiflik özelliği yüksek olan materyallerde geri tepkimesizlik (Çift yönlü tepkime/ şarj-deşarj) özelliği de yüksektir, bu da bataryalarda

istenmeyen bir durumdur. Bu yüzden reaktiflik özelliğinin yüksek olması Li-ion tabanlı bataryalar için problem yaratan bir durumdur. Bu olumsuz etkiyi çözmek için elektrot yüzeylerinde koruyucu film kullanılarak geri tepkimesizlik özelliğinin azaltılması önerilir (Muratori, M., 2009). Şekil 1.4'te Li-ion batarya hücresi için kaplama detaylarını da içeren genel kesit görünümü verilmektedir.



Şekil 1.4. Li-ion batarya hücresi kesiti (Web 1)

Li-ion bataryalar darbeye karşı çok hassastırlar ve güvenli çalışabilmek için bir kontrol sistemine ihtiyaç duyarlar ve bu yüzden enerji ihtiyacını Li-ion tabanlı depolama sisteminden karşılayan dinamik sistemlerde BYS mutlaka tercih edilir. BYS ile bataryaların gerilim seviyeleri dengelenerek verimli ve güvenli operasyon sağlanır. Ayrıca kontrol sistemi ile sıcaklık da sürekli olarak takip edilir. Bu önlemler sayesinde aşırı yüklenme sonucu istenmeyen metalik lityum kaplama sorunu hemen hemen tamamen ortadan kaldırılabilir (Min ve ark., 2006).

Bu tez çalışmasında da başta elektrikli araçlar olmak üzere depolama sistemlerinde yaygın olarak kullanılan Li-ion bataryalar kullanılmaktadır. Çizelge 1.2'de Li-ion bataryaların avantajları ve dezavantajları verilmektedir.

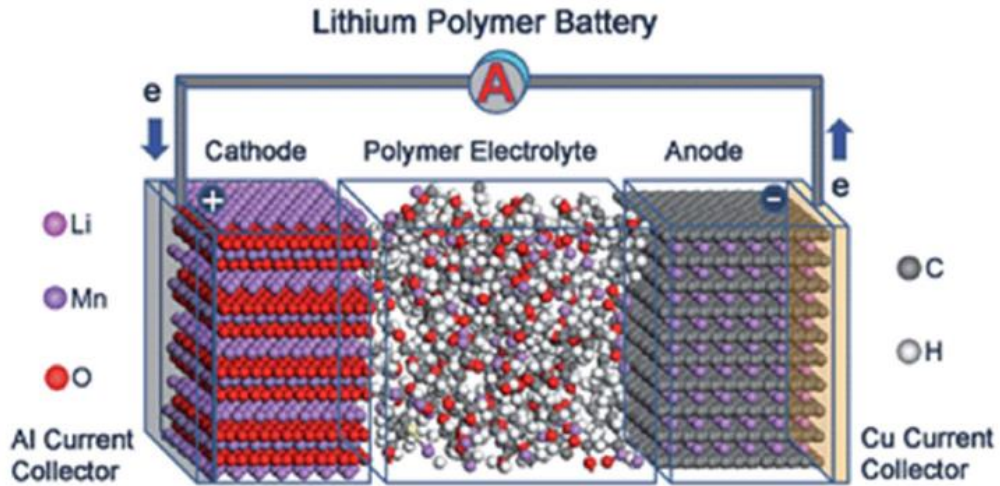
Çizelge 1.2. Li-ion bataryaların avantajları ve dezavantajları (Özel, M.A., 2019)

Avantajlar	Dezavantajlar
Enerji yoğunlukları yüksektir.	Güvenli akım ve gerilim sınırlarında kalmak için koruma devresine ihtiyaç duyarlar.
Çok yüksek akım sağlayabilirler.	Üretildikleri malzeme rezervleri sınırlıdır.
Daha düşük kendiliğinden deşarj özelliği vardır.	Boşta durunca kapasite kayıpları yaşarlar.
Düşük bakım gerektirirler.	Üretimleri yüksek maliyetlidir.
Hafıza etkisinden neredeyse hiç etkilenmezler.	Darbelerden aşırı etkilenirler.

1.1.2. Lityum İyon Polimer Batarya (LiPo)

Li-ion polimer bataryalarda, Li-ion bataryalara benzer özelliklere sahip negatif elektrot anot ve pozitif elektrot katot bulunmaktadır, bu Li-ion bataryalar ile temel ortak yapıdır. Li-ion polimer bataryalar ile Li-ion bataryalar arasındaki temel fark ise elektrolit ve ayırıcı malzemesidir. Li-ion bataryalarda ayırıcı ve elektrolit ayrı iken Li-ion polimer bataryalarda elektrolit aynı zamanda ayırıcı görevi görmektedir. Bundan dolayı elektrokimyasal tepkimeleri farklı olmaktadır.

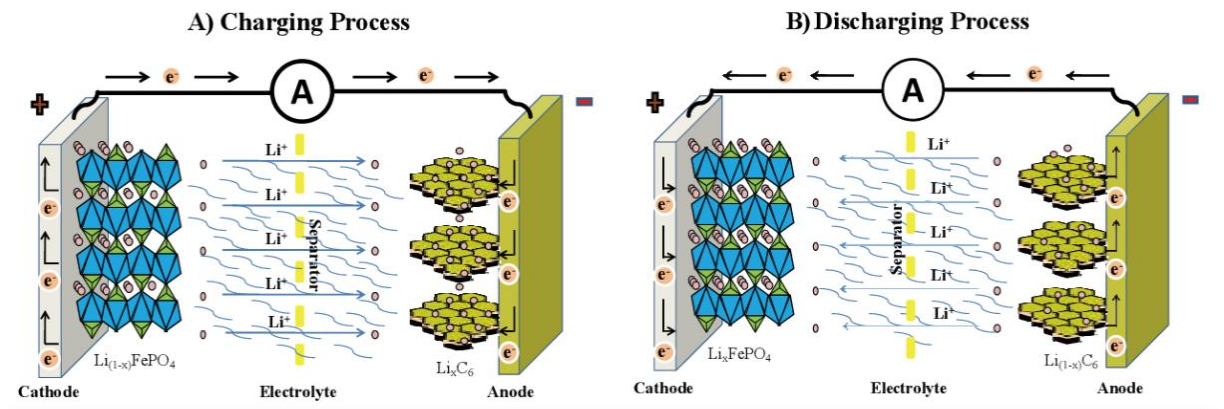
20°C sıcaklık referans alınarak sayısal değer verilecek olursa, çoğu sıvı organik elektrolite ait iletkenlik değeri 10^{-3} (Ohm-cm)⁻¹ iken, çok sık kullanılan bir polimer elektrot olan polietilenoksit için iletkenlik 10^{-8} (Ohm-cm)⁻¹'dir. Sonuç olarak, polimer elektrotun kabul edilebilir bir iletkenlik değerinin olabilmesi için fiziksel yapısının oldukça ince olması gerekmektedir. İncelen polimer elektrot yapının, hücrede aşırı uç gerilimine maruz kalınması durumunda, polimer elektrot delinme göstererek kısa devreye sebep olabilmektedir. Bu durum, Li-ion polimer bataryalarda sıkça görülen bir arıza durumudur. Standart ikincil bataryalar düşünüldüğünde, Li-ion polimer hücreler kendiliğinden deşarjı en düşük bataryalardır. Bu karakteristik özellikleri, özellikle havacılık ve uzay teknolojileri konusunda birçok çalışmaya ön ayak olmuştur ve bu sistemler üzerinde çalışmalar devam etmektedir (Kaypmaz, T.C., 2009). Şekil 1.5'te Li-ion Polimer batarya hücresi için genel detaylar verilmektedir.



Şekil 1.5. Li-ion polimer batarya hücresi (Long ve ark., 2016)

1.1.3. Lityum Demir Fosfat Batarya (LiFePO₄)

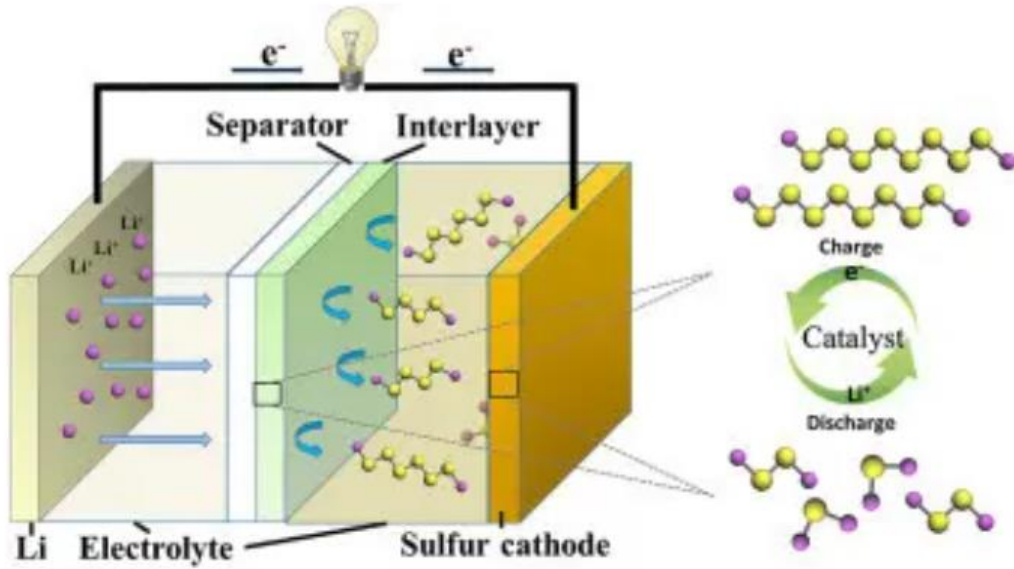
Lityum tabanlı batarya türlerindedir. Yapısal olarak incelendiğinde Li-ion bataryalardan farklı olarak göze çarpan temel yapı; Li-ion bataryalarda pozitif elektrot katot lityum metal oksitlerden üretilirken, lityum demir fosfat bataryalarda ise katot elektrotlarının lityum demir fosfat kullanılarak üretilmesidir. Li-ion bataryalar gibi yüksek döngü sayısı (yüksek ekonomik ömür), yüksek enerji yoğunluğu ve yüksek güvenlik gibi olumlu özellikleri vardır, ancak Li-ion bataryalar ile kıyaslandığında daha geride kalmaktadırlar (Yong ve ark., 2015). Şekil 1.6'da Lityum Demir Fosfat batarya hücreleri için genel detaylar verilmektedir.



Şekil 1.6. Lityum Demir Fosfat batarya (Toprakci, O. ve ark., 2010)

1.1.4. Lityum Sülfür Batarya (LiS)

Lityum tabanlı batarya türlerindedir. Yapısal olarak incelendiğinde Li-ion bataryalardan farklı olarak göze çarpan temel yapı; Li-ion bataryalarda pozitif elektrot katot lityum metal oksitlerden üretilirken, lityum sülfür bataryalarda ise katot elektrotlarının sülfür kullanılarak üretilmesidir. Yüksek enerji yoğunluğuna, ortalama döngü sayısına (ortalama ekonomik ömür), yüksek dolum verimliliğine ve düşük seviye hücre gerilimine sahiptirler (Yong ve ark., 2015). Şekil 1.7’de Lityum Sülfür batarya hücreleri için genel detaylar verilmektedir.

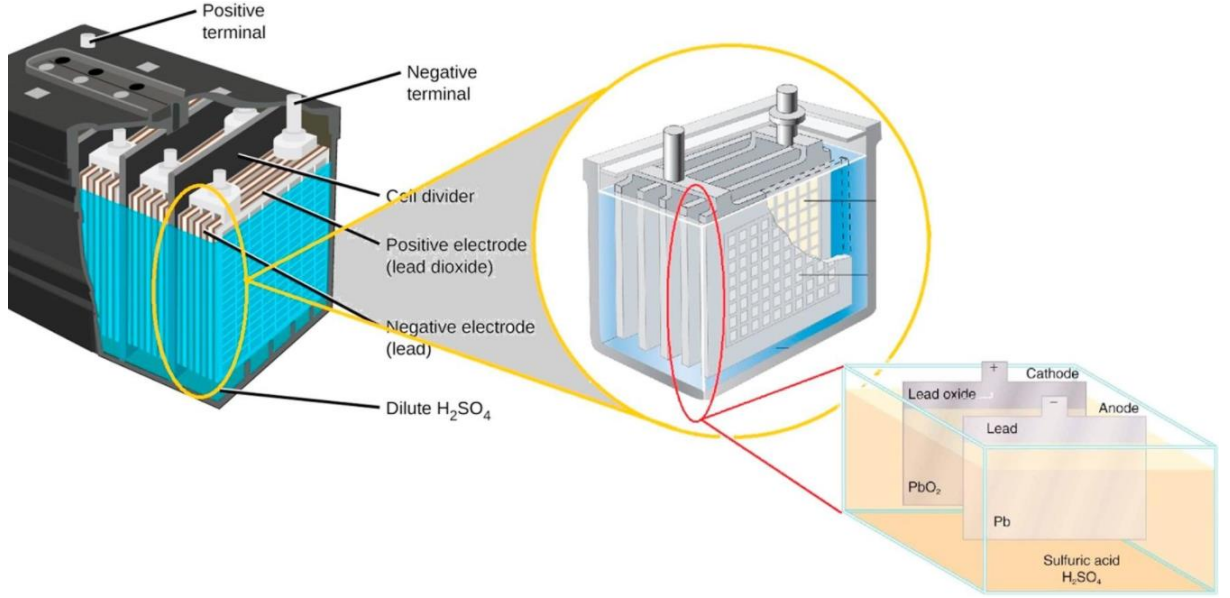


Şekil 1.7. Lityum Sülfür batarya (Web 2)

1.1.5. Kurşun Asit batarya (Pb-Asit)

Günümüzde pek çok sektörde kullanımı yaygın olan Kurşun Asit bataryalar elektrikli araç teknolojileri için kullanılan ilk batarya türlerindedir. Kurşun asit bataryalarda pozitif elektrot katot için Kurşun dioksit (PbO_2), eksi elektrot anot için Kurşun (Pb) ve elektrolit olarak hidrojen sülfür olarak bilinen Sülfürik Asit (H_2SO_4) kullanılmaktadır. Teknolojisinin çok eski yani gelişim aşamalarında ileri seviyede olması ve ucuz olması çok tercih edilmesinde ana sebeplerdir. Birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmalarına rağmen diğer batarya teknolojilerine göre düşük enerji yoğunluğu ve düşük anma gerilim dayanımlarından dolayı verimlilik açısından düşük aktiviteler

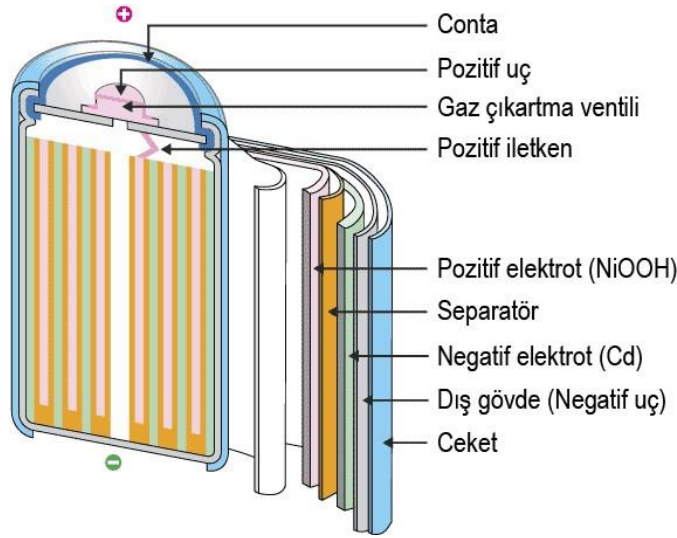
göstermektedirler. Diğer batarya türleri gibi kullanımda olmayan zaman dilimlerinde kapasiteleri ve ekonomik ömürleri azalmaktadır (Yong ve ark., 2015). Şekil 1.8’de Kurşun Asit batarya hücreleri için genel detaylar verilmektedir.



Şekil 1.8. Kurşun Asit batarya (Malekshah, M.H. ve ark., 2018)

1.1.6. Nikel Kadmiyum Batarya (NiCd)

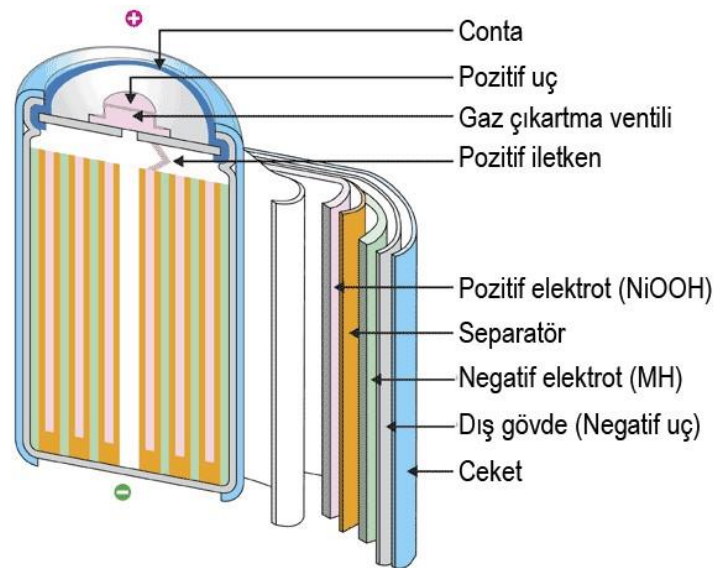
Nikel Kadmiyum bataryalar birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadırlar, bu sektörlerden biri de elektrikli araçlardır. Kurşun asit bataryalarda pozitif elektrot katot için Nikel Hidroksit veya Nikel Oksihidroksit (Ni(OH)₂/NiOOH), eksi elektrot anot için kadmiyum ya da Kadmiyum Hidroksit (Cd/Cd(OH)₂) ve elektrolit çözelti için ise Potasyum Hidroksit (KOH) materyalleri kullanılmaktadır. Bu bataryalar yüksek kapasite, yüksek döngü sayısı (uzun ekonomik ömür) ve sarsıntılara karşı yüksek dayanıklılık gibi avantajlı özellikleriyle elektrikli araçlarda kullanılmak için aranan bir batarya çeşididir. Ancak düşük enerji yoğunluğu ve yüksek maliyetler gibi dezavantajları da vardır. Bu bataryaların tercih edilmesindeki en büyük etken tartışmasız defalarca şarj edilmeye çok uygun olmalarıdır, bu özellikleri sayesinde maliyetleri yüksek olduğu halde uzun vadede uzun ekonomik ömür olanağı sağlarlar (Keskin, F., 2014). Şekil 1.9’da Nikel Kadmiyum batarya hücreleri için genel detaylar verilmektedir.



Şekil 1.9. Nikel Kadmiyum batarya (Web 3)

1.1.7. Nikel Metal Hidrat Batarya (NiMH)

Nikel Kadmiyum bataryalar ile benzer yapıları vardır. Nikel Metal Hidrat bataryalardaki eksi elektrot anotta, NiCd bataryalardaki Kadmiyum yerine Metal Hidrat kullanılmaktadır. NiCd bataryaların olumsuz etkilerine (daha çok çevre kirliliği) alternatif olmalarından dolayı son yıllarda daha çok kullanılmaktadırlar. Ek olarak NiCd bataryalara göre daha fazla enerji depolama kapasitesine sahip olup ve daha hızlı şarj edilebilirler (Keskin, F., 2014). Şekil 1.10'da Nikel Metal Hidrat batarya hücreleri için genel detaylar verilmektedir.



Şekil 1.10. Nikel Metal Hidrat batarya (Web 3)

1.2. Batarya Yönetim Sistemi (BYS)

Depolama sistemlerinin kullanıldığı yapılarda, enerji arzı neredeyse en önemli parametredir. Bu sebepten dolayı depolama sisteminin maksimum verim ve güvenlikte, sürekliliği olacak şekilde çalışması çok önemlidir. Depolama sistemlerinde farklı ve karmaşık yapılara sahip birçok batarya çeşidi ve bağlantı elemanları bulunmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle beraber yaygınlaşan ve halen gelişim aşamaları devam eden “Batarya Yönetim Sistemi (BYS)”, depolama sistemlerinin maksimum verim ve güvenlikle, süreklilik arz edecek şekilde çalışmasını sağlayan kontrol sistemleridir. Bu sistemler bir veya daha fazla türde elektronik birimden ve bu birimlerin aktivitelerini belirleyen yazılım algoritmalarından meydana gelmektedir.

Batarya teknolojileri üzerine araştırma geliştirme çalışmaları (ARGE) halen devam etmektedir. Verimli, güvenli ve kesintisiz bir enerji arzı sağlamak için bataryaların bir BYS tarafından yönetilmesi yapılan ARGE çalışmalarında da görülmekte ve belirtilmektedir. Elektrikli araçlar gibi dinamik yapılara sahip sistemlerde kullanılan depolama sistemlerinde, BYS tartışmasız en önemli birimdir. Çünkü elektrikli araçlarda, bataryaların kullanım senaryoları çok ciddi sınırlara sahiptir ve bu kullanım sınırlarına uyulması gerekmektedir. Bu sebepten dolayı depolama sistemleri kullanılan diğer yapılarda olduğu gibi elektrikli araçlarda BYS olması gerekmektedir.

Ayrıca depolama sistemlerinde kullanılan pil teknolojileri gün geçtikçe yüksek performanslara ulaşmaktadır. Ancak yüksek performans değerleri hesaplanırken BYS’ler de gelişimin bir parçası sayılmalıdır. Yani batarya teknolojilerinde ulaşılan yüksek performans değerlerindeki pay, sadece batarya hücrelerinin gelişimine ait değildir, bu tek başına yeterli olmamaktadır, burada BYS’lerin büyük payı vardır. Yapılan incelemeler kapsamında, bu tez çalışmasında da kullanılan pil modeli olan yüksek performanslı Li-ion hücreler, yerine geçtikleri veya muadilleri oldukları pil teknolojilerine göre yüksek performanslar sunsalar da dezavantajlarının olduğu da bilinmektedir. Li-ion batarya hücrelerinin Şekil 1.2’de detaylandırılan güvenli gerilim ve sıcaklık aralıklarında çalışmaları gerekmektedir. Güvenli çalışma aralıklarının dışına çıkıldığında hücreler ciddi zarar görür, kapasitelerinde ve ekonomik ömürlerinde ciddi düşüşler yaşanır. Ayrıca

patlama ve yanma gibi ekzotermik reaksiyonlar yaşanmasıyla güvenlik problemleri ortaya çıkabilir. BYS kullanılarak problemler senaryoların önüne geçilmektedir.

1.3. Batarya Yönetim Sistemi Görevleri

Profesyonel BYS'ler kullandıkları yapılara, alanlara göre çok sayıda görevi yerine getirebilme kabiliyetine sahiptirler. Kullandıkları yapılar için uyarlanabilir kontrolcülerinde tasarlanan algoritmalara göre yazılımlar yazılarak, yetenekleri artırılabilir veya azaltılabilir. Elektrikli araçlarda çok sayıda parametreyi kontrol edebilen çok gelişmiş BYS'ler kullanılmaktadır. Elektrikli araçlar söz konusu olduğunda bataryaların kesintisiz enerji arzı sağlaması, uzun ömür (yüksek döngü sayısı) ve üst düzey güvenli olması aranan temel özelliklerdir. Bu sebepten dolayı BYS'de bataryaların izlenmesi, gerilim kontrollü dengeleme ve sıcaklık kontrolü ön plana çıkan aktivitelerdendir. Ancak tabiki de bu ana aktivitelerin yanında birçok farklı kontrol parametresi söz konusu olmaktadır. Teknoloji geliştikçe daha gelişmiş BYS'lere ihtiyaç duyulmakta ve BYS'lerin görev sayıları giderek artmaktadır.

BYS'ler uygulama alanlarına göre uyarlanabilme özelliklerinden dolayı çeşitli görevler üslenerek depolama sistemlerini yönetebilir. Birçok görev içerisinde genelleme yapmak gerekirse izleme, teşhis-kestirim, veri yönetimi, şarj-deşarj yönetimi ve koruma BYS'lerin genel görevlerindedir. Şekil 1.11'de BYS'lerin görevleri detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 1.11. BYS görevleri (Andrea, D., 2010)

1.3.1. Batarya Paketini İzleme Görevi

BYS'lerin temel görevlerinden ilki izleme yapmaktır. İzleme ile elde edilen verileri ile yönetim sistemi gerçekleştirilir. Gelişmiş bir BYS'nin izlediği veriler aşağıdaki gibidir (Gül, H.S., 2018):

- Batarya kapasite durumu
- Batarya şarj durumu
- Batarya deşarj durumu
- Hücre gerilimleri (ayrı ayrı ölçülür)
- Batarya paketi gerilimi (Toplam hücre gerilimi)
- Seri bağlı hücrelerin ana kol akımı
- Hücre sıcaklıkları
- Ortam sıcaklığı
- Soğutma sistemi sıcaklıkları (Örnek: soğutma sıvısı sıcaklığı)
- Batarya izolasyon direnci
- Ortam nemi
- Anahtarlama elemanlarının konumu (Röle ve kontaktör kontakları konumu)
- Konnektörlerin ve kapakların konumu

BYS'nin diğer tüm görevlerini yerine getirebilmesi için yapacağı ilk görev izlemedir, yani bu aşama yönetim sisteminin ilk aşamasıdır ve çok önemlidir. İlk aşamada yapılan ölçümlerin doğru olması gereklidir çünkü BYS yazılım algoritmaları bu verileri işleyerek kontrol ve kumanda işlemlerini gerçekleştirirler. Özellikler yönetim sisteminin ana tekniği olan gerilim dengeleme teknikleri için hücre gerilimlerinin yüksek doğrulukta olması gerekmektedir. Çünkü yanlış yapılacak ölçümler bataryayı güvenli çalışma bölgelerine çekmeye çalışırken yanlışlıkla farklı bölgelere çekerek, istenmeyen kayıpların olmasına sebep olabilir. Bu sebepten dolayı doğru ekipman seçimi, algoritmanın doğru yazılması ve sistem devresinin doğru kurulması önemlidir. Gerilim değerinin yanında akım değerinin doğru ölçülmesi de batarya kapasite değerlerinin doğru ölçülmesi açısından önemlidir.

Ayrıca izleme doğruluğu noktasında dikkat edilmesi gereken en önemli parametrelerden biri de sıcaklıktır. Özellikle bu tez çalışmasında da kullanılan Li-ion tabanlı bataryalar sıcaklıktan yüksek seviyede etkilenirler. Bu sebepten dolayı sıcaklık kontrolü yapılarak BYS'ye entegre kurulan soğutma sisteminin devreye girip, güvenli çalışma aralıkları dışına çıkan sistemi koruması için sıcaklık değerinin doğru ölçülmesi şarttır. Uygun bir termal kontrol yapılabilmesi için iki ya da üç hücrede bir olmak üzere, hücre sıcaklıklarının ölçülmesi önerilir. Bunların yanında BYS, batarya ile ilgili farklı ortam koşullarını (ortam sıcaklığı, nem), anahtarlama elemanlarının pozisyonlarını (açık/kapalı kontak), kapak pozisyon durumlarını (açık/kapalı), izolasyon direnci gibi parametreleri okuyabilmelidir.

Elektrikli araçlarda yüksek gerilime sahip batarya ile aracın diğer düşük gerilim sistemleri birbirinden tamamen izole olmalıdır. Bu izolasyonun tölere edebileceği gerilim seviyesi, yaklaşık 2kV olarak kabul edilmiştir (Scrosati, B., 2015). Ayrıca yüksek gerilim artı ve eksi uçları ile aracın düşük gerilimi toprak hattı (şase) arasında ölçülebilecek izolasyon direnci, ECE-R100 gibi otomotiv standartları tarafından belirlenmiştir. Normal şartlarda bu değer $M\Omega$ - $G\Omega$ mertebelerinde olması öngörülmektedir. Ancak izolasyon azalması ve delinmesi durumlarında bu değer 0Ω 'a kadar düşer ve bu durum bataryada “kaçak” olması olarak adlandırılır. Batarya kaçığı olması bataryayı bozabilecek ve insan sağlığına zarar verebilecek bir olaydır. Bu olumsuz durumları yaşamamak için bataryanın izolasyon direnci BYS tarafından sürekli izlenmeli ve güvenli sınırlar içinde olup olmadığı kontrol edilmeli, güvenli sınırlar içerisinde olunmadığı anlaşılırsa, gerekli tedbirler alınmalıdır (Gül, H.S., 2018).

1.3.2. Teşhis ve Kestirim Görevi

BYS'ler izleme göreviyle akım, gerilim, sıcaklık gibi ölçtüğü parametreleri değerlendirip, batarya paketine ilişkin birçok değeri hesaplayıp teşhislerde bulunur ve kestirimler (çıkarımlar) yapar. Bu değerlendirmelerden temel olanlara değinmek gerekirse: ilkinin “batarya doluluk durumu (SOC: State of Charge) belirleme” ve ikincisinin ise “batarya sağlık durumu (SOH: State of Health) kestirimi” olduğunu söylemek mümkündür.

Batarya Dolu Durumu Belirleme (SOC):

SOC, BYS'nin batarya paketinde kalan enerji hakkında bilgi verilmesini sağlayan parametredir. Bir BYS için SOC belirleme en zor görevlerden biridir. Çünkü matematiksel hesaplamalardan çok batarya hücrelerinin kimyasal özelliklerinin kısa sürelerde değişmesi, sistem kayıpları ve kurulan devre şartları gibi etkenlerden dolayı kesin bir SOC belirlenmesi zordur. En temel haliyle SOC mevcut dolmuş miktarının, pil kapasitesine oranı olarak tanımlanabilir. Eşitlik 1.1'de detaylar verilmektedir.

$$\text{SOC (\%)} = [\text{Dolu Miktarı (Ah)} / \text{Pilin Kapasitesi (Ah)}] \times 100 \quad (1.1)$$

Hesaplaması zor olan SOC belirleme için çeşitli farklı yöntemler ve yaklaşımlar önerilmektedir. Sayma yöntemi SOC belirleme için kullanılan yaygın ve uygulaması kolay olan yöntemlerden biridir. Eşitlik 1.2'de akım sayma yöntemi ile SOC belirlenmesi formüle edilmiştir. SOC hesaplanırken şarj anında η pozitif, deşarj anında negatif alınarak hesaplanmaktadır. Akım sayma yönteminde önemli olan t_0 anında SOC durumunun doğru bir şekilde hesaplanmasıdır. Ayrıca akım ölçümünün hassaslığı da bu yöntemin doğruluğunu etkilemektedir. Akım sayma yöntemi birçok taşınabilir ekipmanda ve elektrikli araçlarda kullanılan bir yöntemdir (Turğut, M., 2018), (Haq, I. N. ve ark., 2015).

$$\text{SOC} = \text{SOC}_{t_0} - \frac{1}{C_N} \int_{t_0}^t \eta I \cdot dt \quad (1.2)$$

SOC : Şarj Durumu

SOC_{t_0} : Başlangıç Zamanındaki Şarj Durumu

C_N : Nominal Kapasite

η : Coulombik Verim (Deşarj sırasında $\eta=1$, şarj sırasında $\eta < 1$)

Batarya Sağlık Durumu Belirleme (SOH):

Sağlık Durumu Belirleme (SOH Kestirimi) için SOC'deki gibi BYS'nin izleme görevi sonucunda ölçülen verilerden faydalanılarak kestirim yapılmaktadır. SOH bir bataryanın üretim aşamasındaki ilk halindeki depolama kapasitesi, şarj tutma durumu,

akım taşıma kapasitesi, izolasyon direnci ve sıcaklık dayanımı gibi özellikleri koruyabilme yeteneğinin durum ölçüsüdür. Fabrika çıkışında üretim kapasite değeri 1500mAh olan bir bataryanın belli bir süre (gün/ay/yıl) sonra kapasitesinin 1200mAh olarak düşmesi, bataryanın sağlık durumunun kötüleştiğini gösterir. Bu yüzden bu batarya için mevcut kapasitenin başlangıç kapasitesine göre düşüşünün ölçütü olan SOH bilgisi, BYS ekranında çıkış verisi olarak verilebilir. Basit bir matematiksel ifade ile SOH, Eşitlik 1.3'teki gibi formülize edilebilir.

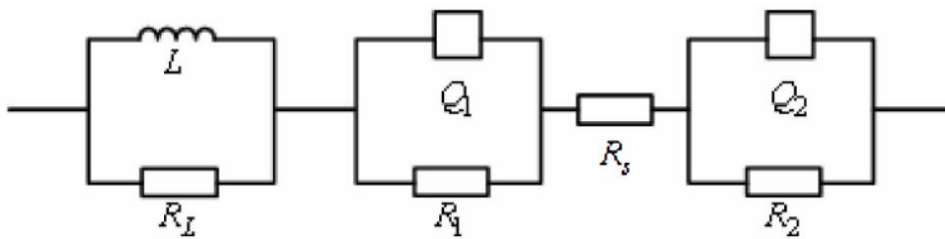
$$\text{Batarya Sağlık Durumu SOH (\%)} = [C_M / C_N] \times 100 \quad (1.3)$$

SOH : Sağlık Durumu

C_M : Batarya Mevcut Kapasite

C_N : Batarya Fabrika Çıkış Kapasitesi (Başlangıç Kapasitesi)

SOH belirlemenin verimli bir şekilde kullanılabilmesi için bataryanın tam olarak şarj ve deşarj edilmesi ve ayrıca bu sırada doğru bir kapasite hesaplamasının yapılması gerekmektedir. Ancak elektrikli araçlar gibi bazı kritik uygulamalarda bu teknik her zaman tercih edilmemektedir. Çünkü batarya tam olarak tükenmeden şarj edilebileceği gibi tam şarj olmadan da şarj işlemine son vermek gerekebilmektedir. Buna rağmen bataryanın bozulmasını önceden fark etmek, muhtemel bir arızayı daha gerçekleşmeden tespit etmek veya önlemek elektrikli araç uygulamaları için oldukça önemlidir. Bu sebeple genellikle Lityum-İyon piller için kullanılan en yaygın SOH hesaplaması, Empedans Spektroskopisi yöntemidir. İç direnç bilgisi, bataryanın sağlık durumu tahmini hakkında bize bilgi sağlamaktadır. İç direnç hesaplamak için kullanılan diğer yöntemler oldukça karmaşık algoritmalar içerebilmektedir. Şekil 1.12'de batarya iç direncinin elektriksel modeli bulunmaktadır. Bu model dikkate alınarak farklı değişken parametrelerin sağlık durumu üzerindeki etkisi Çizelge 1.3'te görülmektedir (Karadeniz, O., 2017).



Şekil 1.12. Batarya iç empedans parametreleri

Çizelge 1.3. Değişken parametrelerin sağlık durumu üzerindeki etkisi

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

1.3.3. Veri Yönetimi Görevi

BYS'lerde kontrol ve kumanda ile depolama sistemlerinin korunması hedeflenmektedir. Genel olarak kontrolcüler birden çok elektronik kart ile tasarlanırken, bu tez çalışmasında olduğu gibi programlanabilen modüler tipte, tek bir kontrolcü ve yardımcı ekipmanlarıyla da tasarlanabilir. Tüm yönetim sistemlerinde ana hedef aynıdır. Kontrol ve kumandanın sağlanabilmesi için merkezi ya da merkezi olmayan sistem farkı olmaksızın, depolama sisteminin üst seviyede verim ve hızlı koruma sağlamak için, BYS izleme yeteneği sayesinde birçok veri toplanır. Bu verilerin kontrolcü tarafından işlenmesi ve kontrol algoritmasına göre gerekli aksiyonların alınması için yönetim birimi, yönetim sistemi içerisinde bulunan bütün elemanlar ile haberleşir. Bu haberleşmeler RS485, RS232 ya da Ethernet gibi fiziksel protokoller ile sağlanabileceği gibi kablosuz haberleşme araçları ve altyapıları ile de gerçekleştirilebilir. Bu haberleşmelerdeki veri olarak nitelendirilen değerler kontrolcü algoritmasına göre talep edilen sıcaklık değerleri, hücre gerilimleri, hücre akımları, paket gerilimleri, paket akımları gibi analog veriler olabileceği gibi anahtarlama kontak bilgileri, kapak bilgileri, elektronik kapı bilgileri gibi dijital veriler de olabilmektedir. Bütün bu veriler BYS ekosisteminde veri olarak işlenecek detayları oluşturur. BYS bu verileri toplar, değerlendirir, algoritmada işler ve

hareket planı için direktifler vererek depolama sistemini entegre olduğu sistem için yönetir. Elektrikli araçlarda da bu böyledir. Elektrikli araç dinamiklerine göre BYS algoritması çalışır ve yönetim için çıktılar oluşturularak yönetim gerçekleştirilir. Ayrıca BYS'ler verilerin kayıt altına alınabilmesi için gerekli yeteneklere sahip şekilde donatılabilmektedir, veriler harici kart, flash bellek ya da bulut gibi kaydetme birimlerinde depolanabilir.

1.3.4. Şarj Deşarj Yönetimi Görevi

Elektrikli araçlarda depolama sisteminin kullanılmasındaki temel amaç motorun tahrik edilmesidir. Tahrik işlemi için batarya çıkışları motor sürücü birimine bağlı haldedir ve motor çalıştığında bataryadan yük çekilir, batarya deşarj olur. Bataryanın şarj işlemi ise araçta bulunan şarj girişindeki bir şarj cihazıyla gerçekleşir. Şarj ve deşarj işlemlerinin tüm aşamaları BYS tarafından kontrol edilir ve yönetilir. BYS kontrol algoritması ile şarj sırasında şarj ve deşarj akımlarını düzenler, batarya hücre gerilimlerini dengeler, sıcaklık değerlerini kontrol eder ve batarya doluluk oranını izler. Şarj ve deşarj operasyonlarında bataryadan çekilebilecek akım değerlerini sürekli olarak motor sürücüsüne bildirir ve gerilim değerlerini kontrol ederek gerilimleri dengeler. BYS Her iki durumda da akım ve gerilimin istenmeyen değerler alması halinde görevini yerine getirir (Gül, H.S., 2018).

1.3.5. Koruma Görevi

BYS'nin izleme, teşhis-kestirim, veri yönetimi ve şarj-deşarj yönetimi gibi bütün ana görevleri, temelde koruma görevini de yerine getirmek için yapılan görevlerdir. BYS, depolama sisteminin kullanımı aşamasında yönetim gerçekleştirir ancak; aşırı yüksek sıcaklık, aşırı akım, yüksek gerilim gibi yönetimin bataryayı koruması için yeterli olmadığı durumlar yaşanması da mümkündür, bu gibi durumlarda BYS acil durdurma moduna geçer, yük akışını durdurur ve depolama sistemi izole ederek koruma moduna alır.

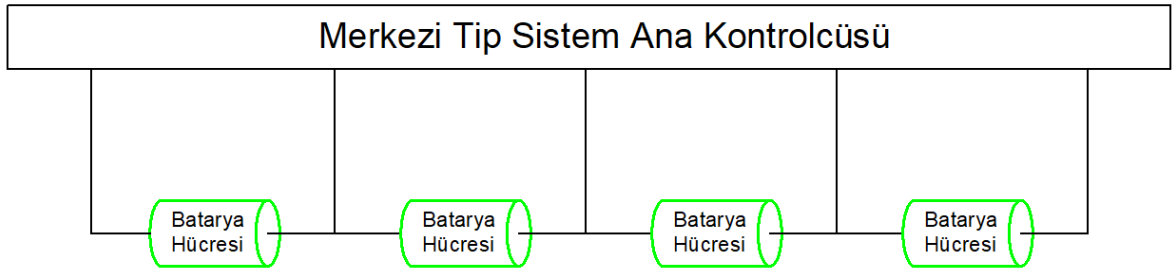
1.4. Batarya Yönetim Sistemi Türleri

Batarya yönetim sistemleri donanımsal devre yapısı ve yönetim modeli için incelendiğinde dört ana başlık altında sınıflandırılmaktadır (Reindl, A. ve ark., 2020).

- Merkezi Tip Batarya Yönetim Sistemi
- Modüler Tip Batarya Yönetim Sistemi
- Ana Kontrolcü-Yardımcı Kontrolcü Tip Batarya Yönetim Sistemi
- Dağıtılmış Tip Batarya Yönetim Sistemi (Merkezi Olmayan Tip)

1.4.1. Merkezi Tip Batarya Yönetim Sistemi

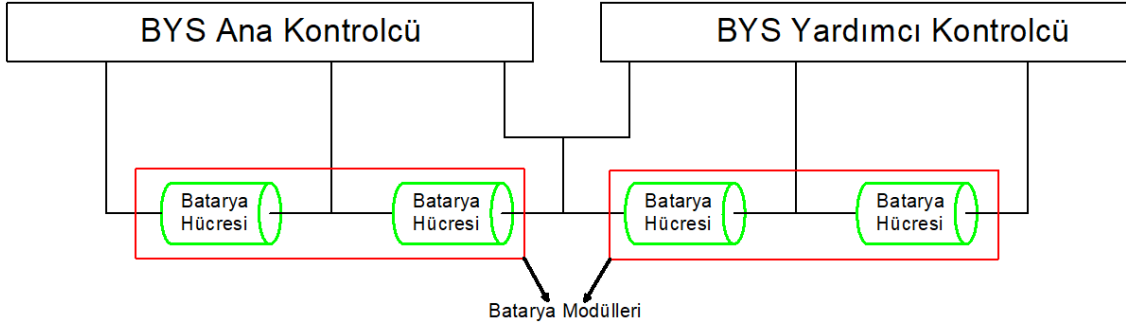
Merkezi yapıda BYS'lerde bütün batarya hücreleri tek bir kontrolcüye bağlı olacak şekilde tasarlanır. Bağlantı sayıları diğer tip sistemlere göre daha azdır, kurulumları kolaydır, daha düşük maliyetlidirler ve yönetim tek bir noktadan doğrudan gerçekleşir. Şekil 1.13'te merkezi tip bir batarya yönetim sisteminin devre topolojisi verilmektedir.



Şekil 1.13. Merkezi tip batarya yönetim sistemi

1.4.2. Modüler Tip Batarya Yönetim Sistemi

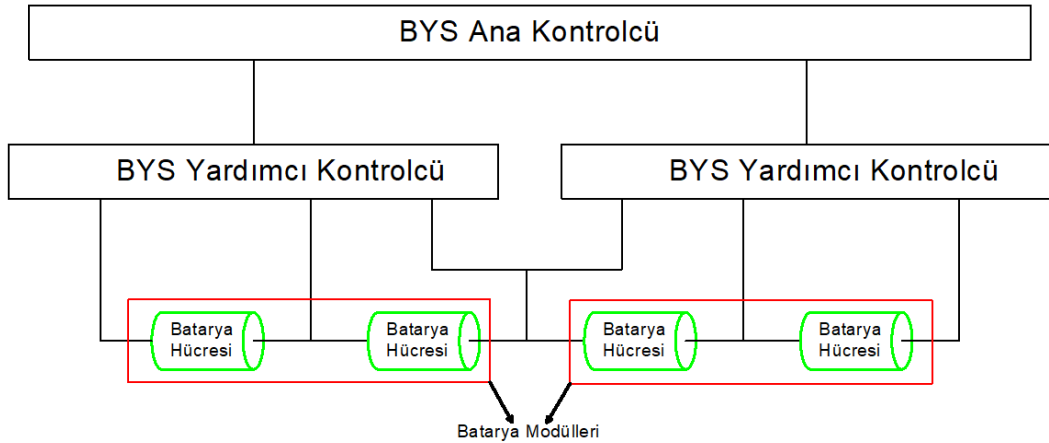
Modüler yapıda BYS'lerde hücreler için gruplama söz konusudur. Gruplanan belli sayıda hücreler, bir modül tarafından izlenir. Modül sayısı tasarımcıya bağlıdır, sayı artırılabilir. Modüllerden biri ana modül olarak diğer modüller ile haberleşir ve kontrolü yapar. Merkezi yapıda BYS'lere göre daha karmaşık ve daha maliyetlidir. Şekil 1.14'te modüler tip bir batarya yönetim sisteminin devre topolojisi verilmektedir.



Şekil 1.14. Modüler tip batarya yönetim sistemi

1.4.3. Ana Kontrolcü-Yardımcı Kontrolcü Tip Batarya Yönetim Sistemi

Ana Kontrolcü-Yardımcı Kontrolcü yapıda YYS'ler için gerilim, akım, sıcaklık gibi veriler yardımcı kontrolcü tarafından izlenir ve ölçülen değerler ana kontrolcüye iletilerek burada işlenir. Yardımcı kontrolcüler belirli sayıda hücreyi gruplara ayırır. Şekil 1.15'te ana kontrolcü-yardımcı kontrolcü tip bir batarya yönetim sisteminin devre topolojisi verilmektedir.

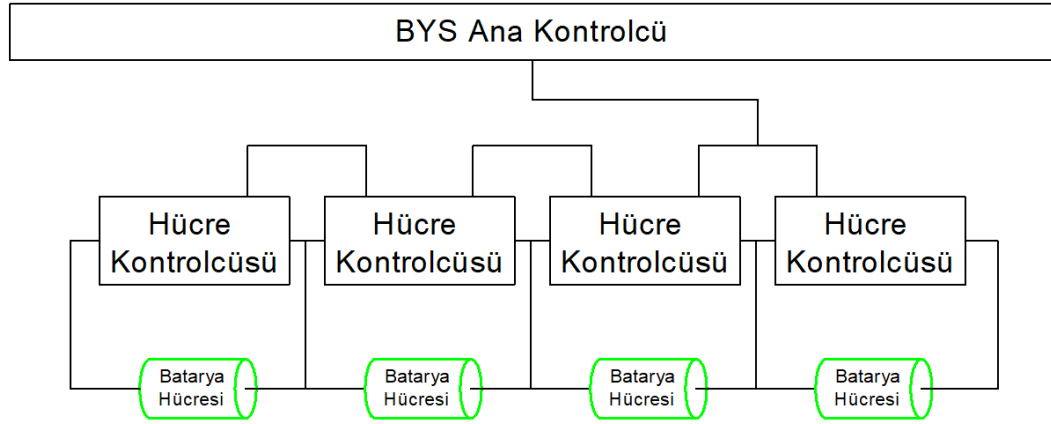


Şekil 1.15. Ana kontrolcü-yardımcı kontrolcü tip batarya yönetim sistemi

1.4.4. Dağıtılmış Tip Batarya Yönetim Sistemi (Merkezi Olmayan Tip)

Dağıtılmış yapıda YYS'lerde her hücre tek bir kontrolcü tarafından izlenir. Hücre kartlarından alınan veriler ana kontrolcüye iletilir ve burada işlenerek yönetim sağlanır. Verim oranı diğer YYS tiplerine göre daha yüksektir çünkü her hücre için özel bir

operasyon söz konusudur. Ancak maliyetleri yüksektir. Şekil 1.16’da dağıtılmış tip bir batarya yönetim sisteminin devre topolojisi verilmektedir.



Şekil 1.16. Dağıtılmış tip batarya yönetim sistemi (merkezi olmayan yapı)

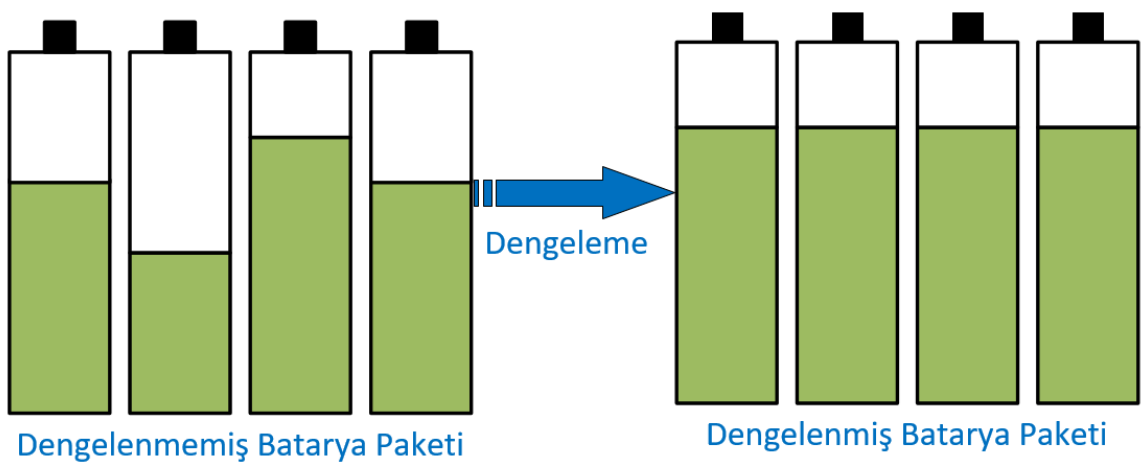
1.5. BYS Hücre Gerilimleri Dengeleme Tekniği ve Yöntemleri

Bir depolama sisteminde kullanılan batarya hücreleri aynı marka, aynı model ve eşit kapasitelere sahip olacak şekilde özdeş olsalar bile, hücreler kimyasal yapılarından ve ortam koşullarından etkilenmelerinden dolayı farklı karakteristik özellikler gösterebilmektedirler. Bu sebepten dolayı şarj ve deşarj operasyonlarında, başlangıçta özdeş üretilen hücrelerde eşit olması beklenen, özellikle hücre gerilimleri farklılaşmaktadır. Hücre gerilimlerinin farklı olması batarya paketinde dengesizliğe sebep olmaktadır. Paralel bağlı batarya hücrelerinde hücreler devre karakteristiği gereği eş potansiyellere kendiliğinden gelebilmektedirler ve hücre gerilimleri eşitlenmektedir. Ancak daha yüksek akımlar ile yüksek kapasiteli paketler oluşturulmak üzere kurulan seri bağlı batarya paketlerinde, kendiliğinden eş potansiyele gelme gibi bir durum söz konusu değildir. Seri bağlı hücrelerde eşit olmayan hücre gerilimleri sebebi ile seri bağlı hücreler birbirlerinden farklı zamanlarda maksimum şarj düzeyine ulaşmaktadırlar. Yani bazı hücreler full şarj seviyesine ulaşırken, diğer hücreler daha ulaşmamış olmaktadır. Böylece batarya paketi deşarj operasyonuna geçtiğinde, gerilim dengesizliğinden dolayı tam şarj edilmemiş olan hücreler diğerlerinden daha önce tükenecektir.

Batarya paketlerinde hücreler arası gerilim farklılıklarını sebepleri aşağıdaki gibidir (Turğut, M., 2018) :

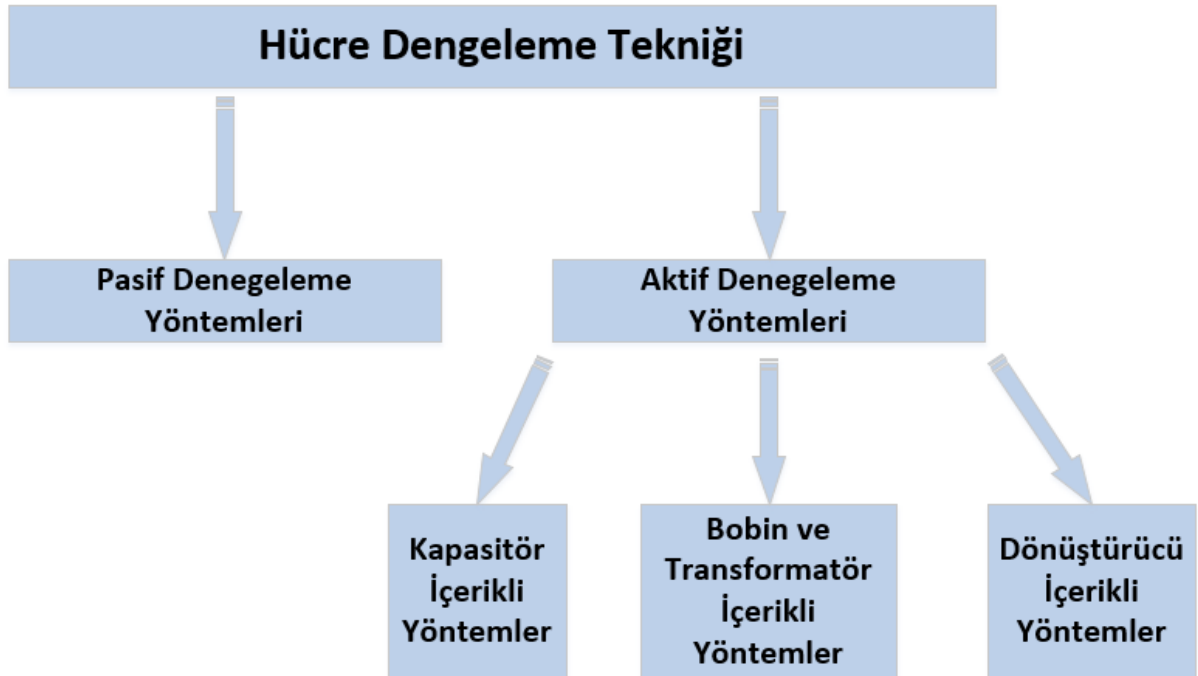
- Batarya hücrelerindeki koruma kılıfları (farklı oranlarda şarj çekilmesine sebep).
- Batarya paketinin farklı bölgelerinin farklı seviyelerde ısınması.
- Hücre üretim bantlarında kaynaklanan farklılıklar.
- Hücre empedanslarındaki farklılıklar.
- Toparlanma oranlarındaki farklılıklar.
- BYS'lerdeki anahtarlama elemanlarından kaynaklanan nedenler.

Batarya paketlerinde hücreler arasında oluşan gerilim farklılıklarını ortadan kaldırarak, bütün hücrelerin eş potansiyele gelmesini sağlamak için gerilim dengeleme tekniğine ihtiyaç vardır. Genel olarak hücre dengeleme tekniğindeki ana yöntem, hücrelerden daha az dolu olanların dolması için çok dolu olan hücrelerin daha fazla şarj olması engellemektir. Böylece eş potansiyel ile beraber eş doluluk oranı yakalanır ve batarya paketinde denge sağlanır. Dengeleme tekniği ile depolama sistemlerinde daha yüksek verim, daha uzun ekonomik ömür (daha fazla döngü sayısı) ve daha yüksek güvenlik sağlanır. Şekil 1.17'de batarya hücrelerinin dengelenmesine ait genel görünüm verilmektedir.



Şekil 1.17. Batarya hücrelerinin dengelenmesi

Batarya dengeleme tekniği ‘‘Pasif Dengeleme Yöntemleri’’ ve ‘‘Aktif Dengelem Yöntemleri’’ olarak iki ana başlık altında toplanabilir. Şekil 1.18’de dengeleme tekniğinde kullanılan yöntemler detaylandırılmaktadır.



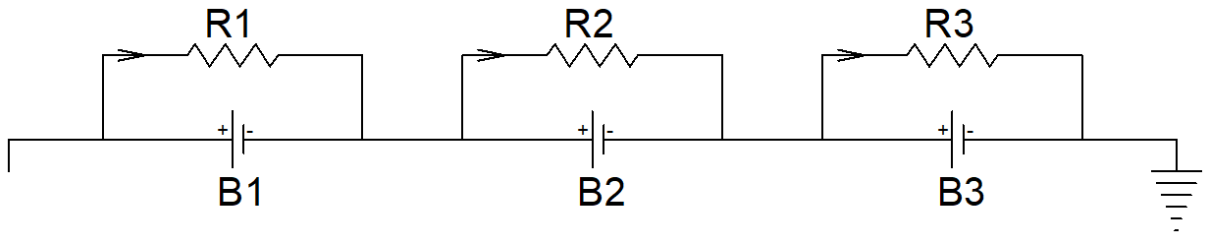
Şekil 1.18. Hücre dengeleme tekniği (Daowd, M. ve ark., 2011)

1.5.1. Pasif Dengeleme Yöntemleri

Hücre dengeleme teknikleri arasındaki en basit dengeleme yöntemidir, kurulumu diğer yöntemlere göre daha kolaydır ve daha az maliyetlidir. Yöntemde batarya hücrelerine paralel dirençler bağlanır ve bu dirençler üzerinden fazla olan enerji ısıya dönüştürülerek harcanır. Fazla enerjinin ısıya dönüştürülmesi demek aslında enerjinin harcanması demektir bu yüzden istenmeyen bir durumdur diyebiliriz, ancak çok az ekipman kullanılması sebebi ile düşük maliyet ve uygulama kolaylığı dikkate alındığında tercih edilebilir. Ayrıca pasif dengeleme yöntemi sadece dolun sırasında uygulanan bir yöntemidir. Anahtarlamasız sabit direnç ve anahtarlamalı direnç olmak üzere iki şekilde yöntem uygulanabilmektedir.

1.5.1.1. Anahtarlamasız Sabit Dirençli Pasif Dengeleme Yöntemi

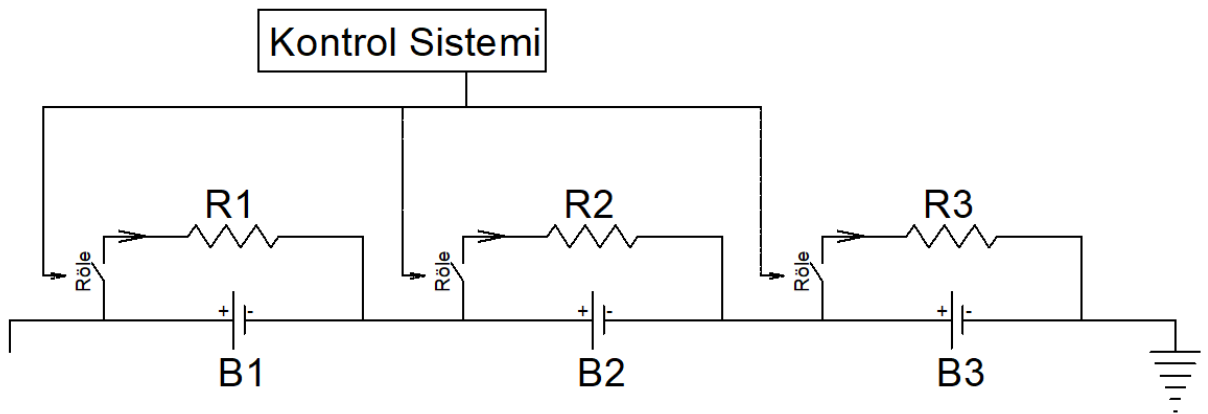
Kullanılan en basit dengeleme yöntemidir. Dirençler hücelere direk olarak paralel bağlanır, kurulumu ve yönetimi oldukça kolaydır. Pasif devre elemanlarında yük yönetimi için anahtarlama elemanları olmadığından dirençler, hücelerden sürekli olarak yük çeker ve bu yüzden verimsizdir. Şekil 1.19'da anahtarlamasız sabit dirençli pasif dengeleme yöntemi için devre şeması verilmektedir.



Şekil 1.19. Anahtarlamasız sabit dirençli pasif dengeleme yöntemi

1.5.1.2. Anahtarlama Sabit Dirençli Pasif Dengeleme Yöntemi

Anahtarlamasız sabit dirençli pasif dengeleme yöntemine göre daha verimlidir ancak genel olarak verimsiz bir yöntemdir. Hücelere bağlı bütün dirençler ayrı ayrı anahtarlama elemanları ile kontrol edilebilmektedir. Bu tez çalışmasında da anahtarlama sabit dirençli pasif dengeleme yöntemi kullanılarak, dengeleme tekniği uygulanmaktadır. Şekil 1.20'de anahtarlama sabit dirençli pasif dengeleme yöntemi için devre şeması verilmektedir



Şekil 1.20. Anahtarlama sabit dirençli pasif dengeleme yöntemi

1.5.2. Aktif Dengeleme

Aktif dengeleme yönteminde pasif dengelemede olduğu gibi fazla enerji dirençler üzerinden ısıya dönüştürülerek harcanmaz, bu yöntemde enerji korunumu üst seviyededir. Aktif dengeleme yöntemi ile enerjisi fazla olan hücrelerden diğer hücrelere ya da direk batarya paketine enerji aktarımı söz konusudur. Aktif dengeleme yöntemlerinin verimliliği yüksektir ve en büyük avantajı ise hem şarj hem de deşarj sırasında uygulanabilir olmasıdır.

Bu yöntemdeki dezavantajlarından biri şarj ve deşarj işlemlerindeki enerji transferi verimliliğinin düşük olmasıdır. Diğer dezavantaj ise dengeleme süresi ve dengeleme oranının eşitlenecek maksimum ve minimum hücre gerilimleri farkına bağlı olmasıdır, gerilim farkı ne kadar fazla olursa eşitleme süresi de aynı oranda düşer (Turğut, M., 2018).

1.5.2.1. Kapasitörlü Aktif Hücre Dengeleme Yöntemleri

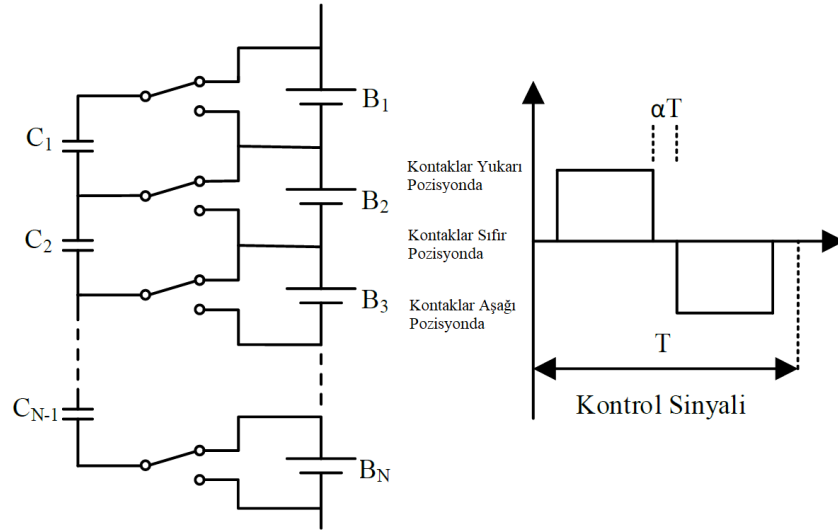
Kapasitörler yapıları gereği ara bir depolama birimi olarak kullanılabilirler. Kapasitörlü aktif hücre dengeleme yöntemlerinde kapasitör enerjisi fazla olan hücre tarafından şarj edilir ve buradan da enerjisi az olan hücreye aktarım gerçekleşir. Ara bir depolamanın yüksek olmasından da anlaşılacağı üzere dengeleme hızı sarımlı (bobinli) dengeleme yöntemlerine göre daha yavaştır.

1.5.2.1.1. Anahtarlamalı Kapasitör Yöntemi

Şekil 1.21’de anahtarlamalı kapasitör yöntemi için devre şeması verilmektedir, bu yöntemin genel özellikleri aşağıdaki gibidir (Daowd, M. ve ark., 2011):

- N adet hücreye N-1 tane kondansatör bağlanarak oluşturulur.
- Devrede B1-C1 bağlantısı kurulur daha sonra da B2-C1 bağlantısı kurulur, sadece bu şekilde iki senaryo mevcuttur.
- Sabit değerli senaryo (anahtarlama sabit bir oranla çalışır) ile çalıştığı akıllı bir algoritma gerekmez, kontrolü basittir.

- Kapasitör enerjisi fazla olan hücre tarafından şarj edilir ve buradan da enerjisi az olan hücreye aktarım gerçekleşir.
- Diğer aktif dengeleme yöntemlerine göre dengeleme daha yavaş gerçekleşir.
- Kurulumu zordur (Çok sayıda anahtarlama ekipmanı kullanılır).
- Hem şarj hem de deşarj sırasında operasyon gerçekleştirebilir.
- Verim yüksektir.



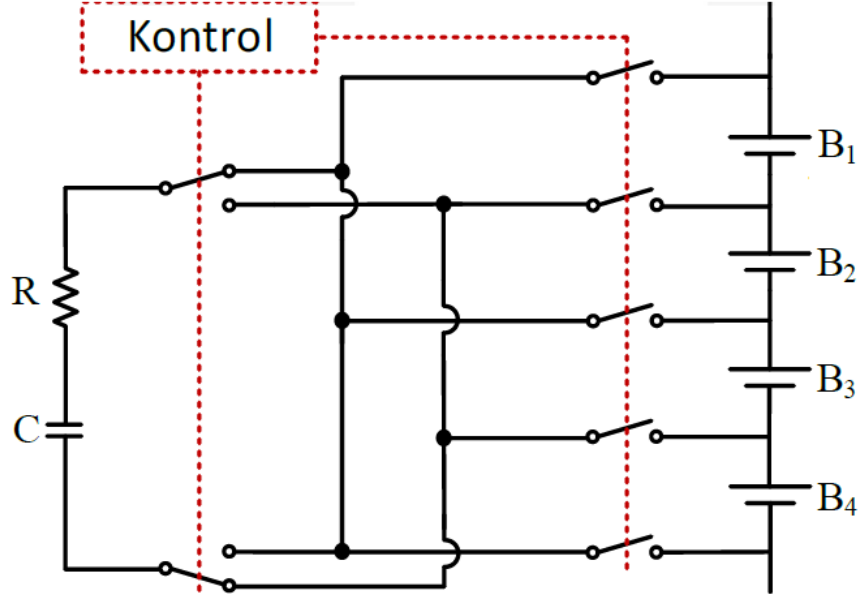
Şekil 1.21. Anahtarlama kapasitör yöntemi

1.5.2.1.2. Tek Anahtarlama Kapasitör Yöntemi

Şekil 1.22’de tek anahtarlama kapasitör yöntemi için devre şeması verilmektedir, bu yöntemin genel özellikleri aşağıdaki gibidir (Daowd, M. ve ark., 2011):

- n tane hücreyi dengelemek için 1 kapasitör ve (n+5) tane anahtar kullanılması yeterlidir.
- Basit bir kontrol senaryosu uygulanır: kontrolcü tarafından en dolu ve en boş hücreler belirlenir, kapasitör dolu hücreden şarj edilir ve daha sonra uygun anahtarlama yapılarak kapasitöre depolanan enerji, az dolu olan hücreye aktarılır ve dengeleme sağlanır.
- Yöntemde verim yüksektir.
- Hem şarj hem de deşarj sırasında operasyon gerçekleştirebilir.
- Dengeleme hızı yüksektir.

Ayrıca dengeleme işleminin yüksek verimde yapılabilmesi için en dolu ve en boş hücrelerin doğru olarak belirlenmesi bu yöntem için en önemli şartlardan birdir.

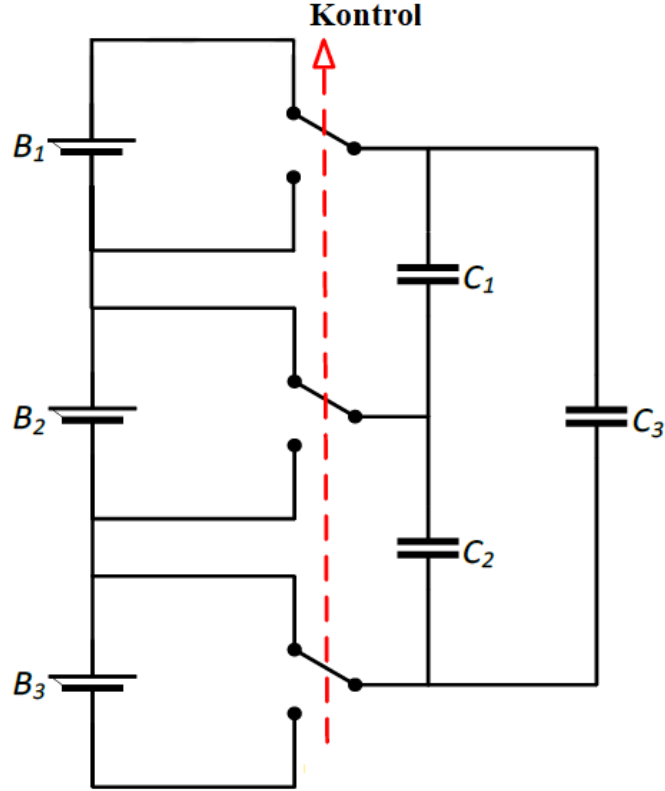


Şekil 1.22. Tek anahtarlama kapasitör yöntemi

1.5.2.1.3. Çift Anahtarlama Kapasitör Yöntemi

Şekil 1.23'te çift anahtarlama kapasitör yöntemi için devre şeması verilmektedir, bu yöntemin genel özellikleri aşağıdaki gibidir (Daowd, M. ve ark., 2011):

- Anahtarlama kapasitör yönteminin bir türevi olarak değerlendirilebilir.
- n adet hücreyi dengelemek için n adet kapasitör ve $2n$ adet anahtarlama elemanı yeterlidir.
- Yöntemde verim yüksektir.
- Hem şarj hem de deşarj sırasında operasyon gerçekleştirebilir.
- Dengeleme hızı yüksektir.
- Yöntemin belirgin avantajı, ikinci kapasitör katının dengeleme süresini azaltmasıdır.



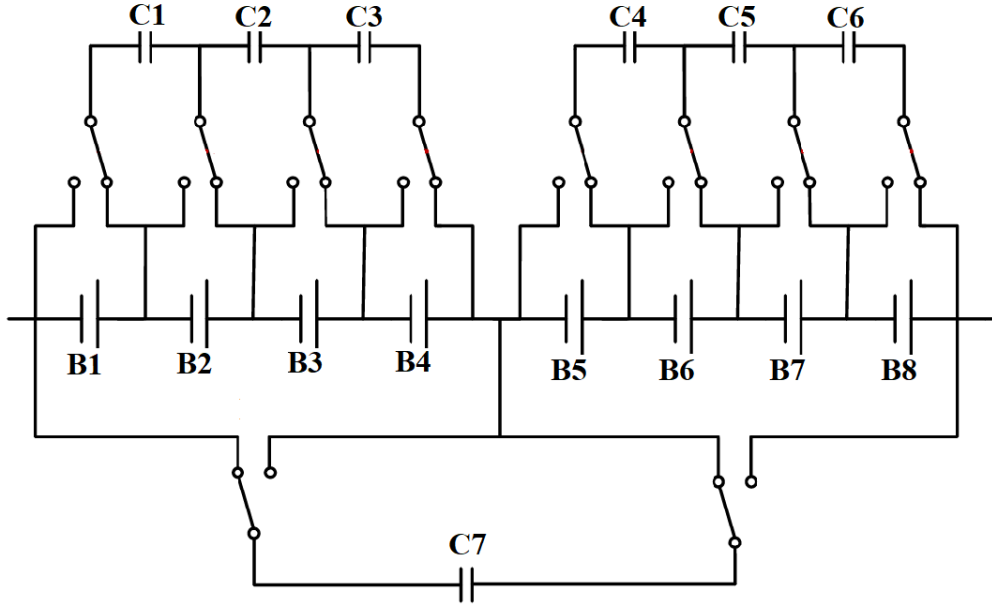
Şekil 1.23. Çift anahtarlamalı kapasitör yöntemi (Daowd, M. ve ark., 2011)

1.5.2.1.4. Modülerize Kapasitörlerle Dengeleme Yöntemi

Modülleme kapasitörler ile uygulanan aktif dengeleme yönteminin genel özellikleri aşağıdaki gibidir (Daowd, M. ve ark., 2011):

- Batarya hücreleri aynı sayıda gruplanarak kapasitörlü modüller oluşturulur.
- Modül içi ve modüller arası dengeleme vardır.
- Dengeleme hızı anahtarlamalı kapasitör yöntemine göre daha hızlıdır.
- Hem şarj hem de deşarj sırasında operasyon gerçekleştirebilir.
- Sabit bir anahtarlama ön plandadır bu basit bir algoritmaya imkan sağlar, ancak çok sayıda anahtarlama olduğundan kurulumu zordur.

Şekil 1.24'te modülleme yapılmış (modülerize) kapasitörlerle dengeleme yöntemi için devre şeması verilmektedir.



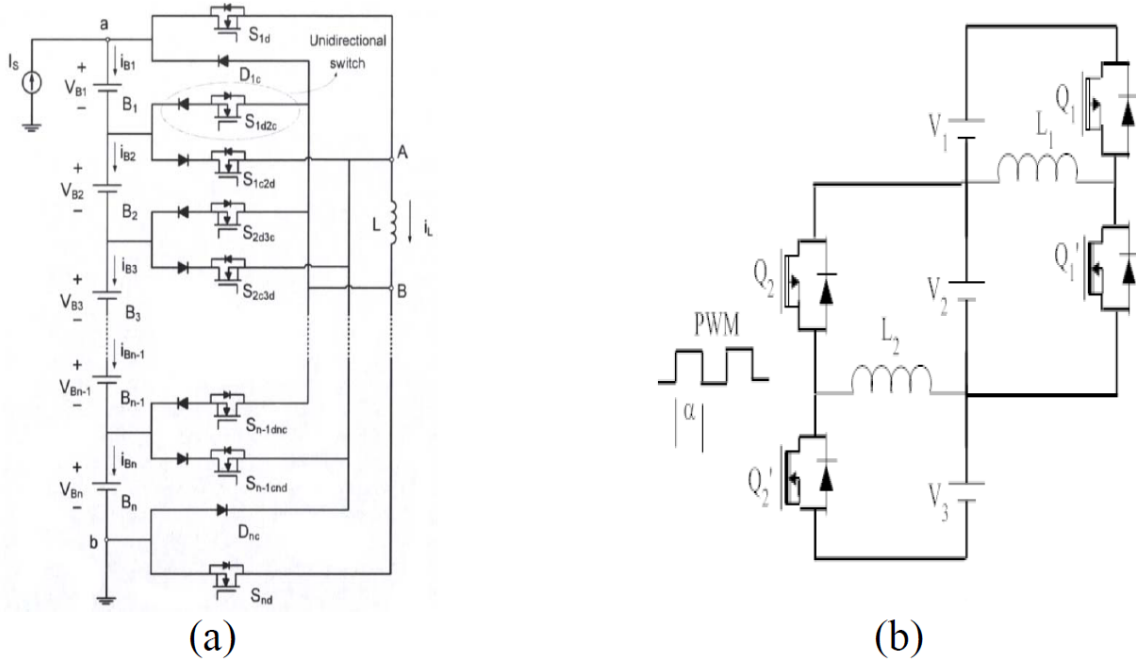
Şekil 1.24. Modülleme (Modülerize) kapasitör yöntemi (P. Hong-Sun ve ark., 2009)

1.5.2.2. İndüktörlü ve Transformatörlü Aktif Hücre Dengeleme Yöntemleri

Enerjiyi bir hücre ya da hücre grubundan diğer hücreler ya da hücre gruplarına transfer etmek için indüktör ve transformatörlerin kullanıldığı yöntemlerdir. Dengeleme süreleri oldukça kısadır ancak transformatör maliyetleri yüksektir (Daowd, M. ve ark., 2011).

1.5.2.2.1. Tekli ve Çoklu İndüktör Yöntemi

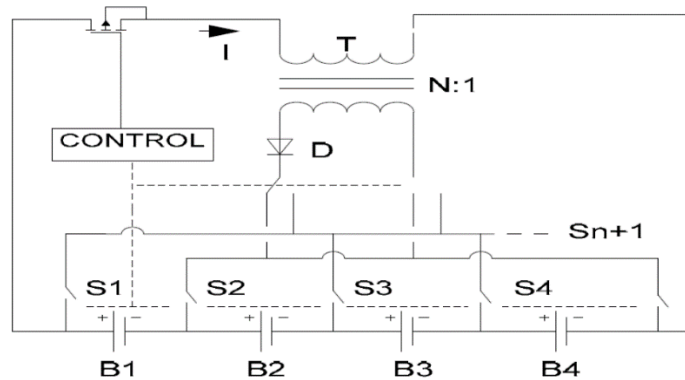
Tek indüktanslı yöntemde tüm pakette hücreler arasında enerji aktarımı için bir indüktör kullanılır. Kontrol sistemi hücrelerin voltajını algılar ve enerji aktarımı için kullanılacak iki hücreyi seçer. Çoklu indüktör sisteminde ise N adet hücreyi dengelemek için N-1 adet indüktör kullanılır. Kontrolcü önce komşu hücrelerin voltaj farkını algılar, ardından dengelemeyi uygular. Bu yöntemin en büyük dezavantajı, özellikle uzun dizili pil takımları için ilk hücreden son hücreye enerji aktarımının uzun zaman almasıdır. Tek indüktör, çoklu indüktör yöntemlerini karşılaştırmak gerekirse, tekli yöntem çoklu yöntemle göre daha hızlı dengeleme yapar (Daowd, M. ve ark., 2011). Şekil 1.25'te tekli ve çoklu indüktör ile dengeleme yöntemi için devre şeması verilmektedir.



Şekil 1.25. Tek ve çok indüktör yöntemi a) Tekli indüktör (P. Sang-Hyun ve ark., 2007) b)Çoklu indüktör (T. H. Phung ve ark., 2011)

1.5.2.2.2. Tek Sarımlı Transformatör Yöntemi

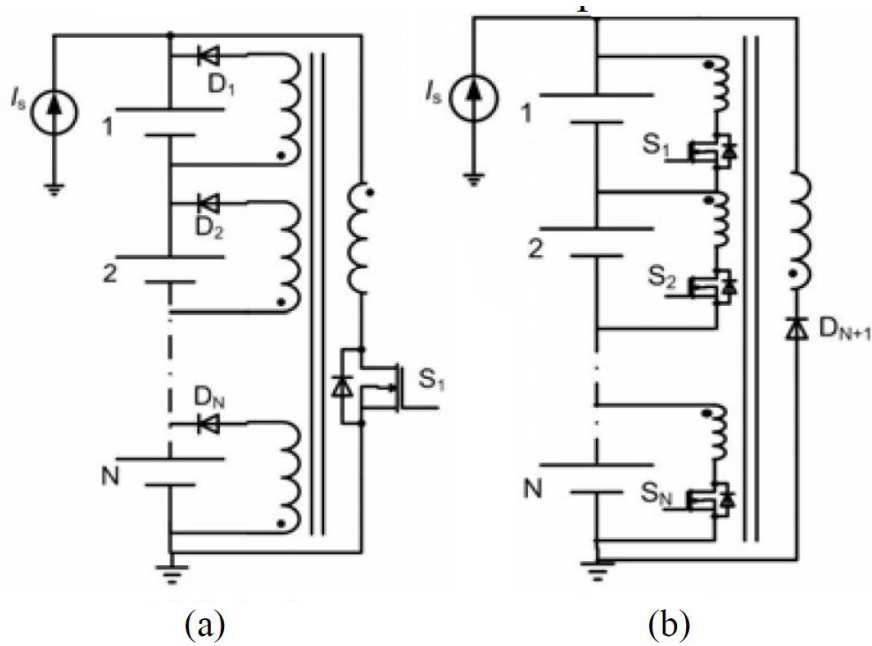
Anahtarlama transformatör olarak da bilinen tek sargılı transformatör yönteminin hücre dengelemesi için iki tekniği vardır. Şekil 1.26'da gösterildiği gibi birinci teknik "paketten hücreye yapısı", tüm batarya paketinden gelen enerjiyi anahtarlama transformatörü aracılığıyla taşımaya ve bu enerjiyi karşılık gelen anahtarları kullanarak zayıf hücrelere aktarmayı sağlar. İkinci teknik olan "hücreden pakete yapısı" ise, yüksek enerjili hücrelerden gelen enerjinin transformatör aracılığıyla pil takımına aktarılmasına sağlar (Daowd, M. ve ark., 2011). Bu yöntemde verim ve dengeleme hızı yüksektir. Ancak çok fazla anahtarlama elemanı kullanıldığı için uygulaması zordur.



Şekil 1.26. Tek sarımlı transformatör yöntemi

1.5.2.2.3. Çok Sarımlı Transformatör Yöntemi

Geri dönüşlü yapı (Flyback) ve ileri yönlü yapı (Forward) olmak üzere iki devre konfigürasyonu vardır. Geri dönüşlü devre yapısında, transformatörün birincil sargısına bağlı anahtarlar açılmasıyla transformatörde bir miktar enerji depolanır. Daha sonra kapatıldığında, enerji transformatörün ikincil sargısına aktarılır. Böylece enerjinin diğer hücrelere aktarılması imkanı oluşur. İleri yönlü devre yapısında ise, gerilim farkı algılandığında en yüksek gerilime sahip hücreye bağlı olan anahtar açılır ve bu hücreden trafo ve anahtarın vasıtasıyla enerji diğer hücrelere aktarılır. Çok sarımlı transformatörlü dengeleme yöntemlerinde devre karmaşıktır ve maliyeti yüksektir, ayrıca çok sargılı trafolar da doyma sorunundan dolayı problemler yaşanabilmektedir. Şekil 1.27’de çok sarımlı transformatör dengeleme yöntemi için devre şemaları verilmektedir (Daowd, M. ve ark., 2011).



Şekil 1.27. Çok sarımlı transformatör yöntemi (a) Geri dönüşlü yapı (Flyback) b) İleri yönlü yapı (Forward) (Daowd ve ark., 2011)

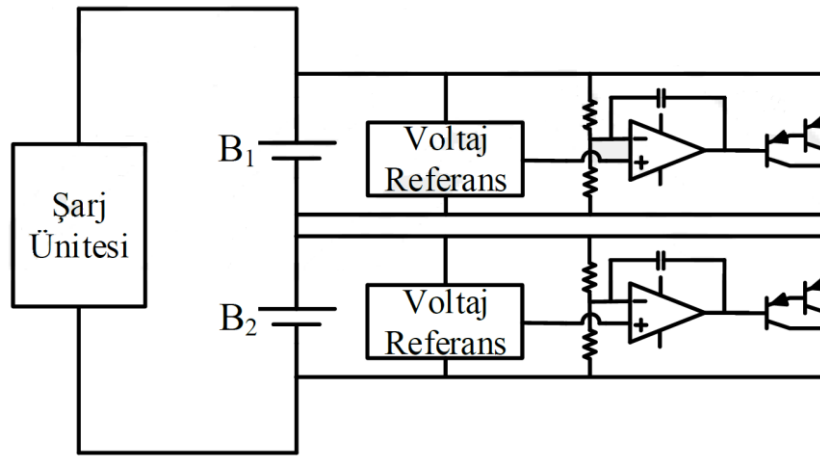
1.5.2.3. Diğer Aktif Hücre Dengeleme Yöntemleri

Birbirine seri bağlı olan hücrelerin her birine birer dönüştürücü bağlanması ile oluşturulan yöntemlerdir. Çok verimli yöntemlerdir. Çok sayıda anahtarlama elemanı kullanıldığından dolayı devre kurulumu zordur. PWM (Pulse Width Modulation) ile

anahtarlama sağlandığından dolayı kontrolcüde iyi tasarlanmış bir algoritması olması gerekmektedir (Turğut, M., 2018).

1.5.2.3.1. Paralel Transistör Yöntemi

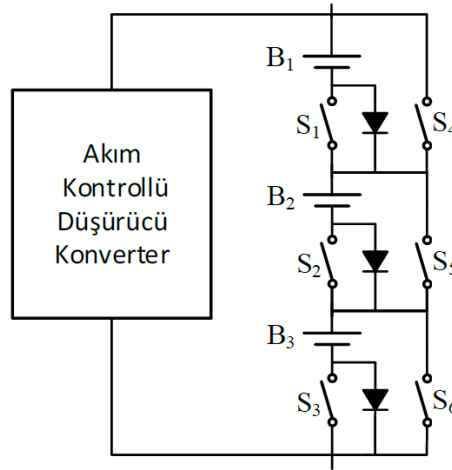
Fazla enerji transistörler üzerinde harcadığı için anahtarlama direnç yöntemine benzer bir mantık ile çalıştığı söylenebilir. Yalnızca şarj sırasında kullanılabilir. Şarj akımı, devresini transistör üzerinden tamamlar ve hücre aradan çıkarılmış olur. Dengeleme hızı ve verimi düşüktür, uygulaması kolaydır. Şekil 1.28’de paralel transistör ile dengeleme yöntemi için devre şeması verilmektedir (Turğut, M., 2018).



Şekil 1.28. Paralel transistör yöntemi

1.5.2.3.2. Tamamen Devreden Çıkarma Yöntemi

Bu yöntemde fazla şarj olan hücrenin daha fazla şarj olmasına izin verilmez, diğer hücreler tamamen şarj olana kadar bu engelleme işlemi devam eder. Hücreler aradan çıkarıldığında yani baypass edildiğinde şarj geriliminin azalması gerekmektedir, bu yüzden şarj ünitesinde akım kontrollü dönüştürücü kullanılır. Kontrol işlemi için akıllı bir algoritma gereklidir. Verimi yüksektir ve dengeleme hızlıdır. Şekil 1.29’da tamamen devreden çıkarma yöntemi ile dengeleme için devre şeması verilmektedir (Turğut, M., 2018).



Şekil 1.29. Tamamen devreden çıkarma yöntemi (Turğut, M., 2018)

1.5.3. Hücre Dengeleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Çizelge 1.4'te pasif dengeleme ve aktif dengeleme tekniklerinin genel özellikleri göz önünde bulundurularak karşılaştırılmaktadır (Soydaş, Ş., 2015) (Andrea, D., 2010).

Çizelge 1.4. Pasif Dengeleme ve Aktif Dengeleme Tekniklerinin karşılaştırılması

Pasif Dengeleme Tekniği	Aktif Dengeleme Tekniği
Fazla enerji ısıya dönüştürülerek yani boşa harcanarak dengeleme sağlanır. Bu sistemin gereksiz yere ısınmasına sebep olur.	Fazla enerji diğer hücreler ya da direk batarya paketine aktarılarak dengeleme sağlanır.
Daha az sayıda devre elemanı ve kontrolcü ile kurulabilir ve bu yüzden uygulaması basittir.	Çok sayıda devre elemanı ve kontrolcü ile kurulabilir ve bu yüzden uygulaması daha karmaşıktır.
Ortalama hücre başına 1 birimlik maliyeti vardır. Yani birim maliyeti daha düşüktür.	Ortalama hücre başına 10 birimlik maliyeti vardır. Yani birim maliyeti daha yüksektir.
Uykuda harcadığı enerji yok denilecek kadar azdır (0mW).	Uykuda harcadığı enerji yaklaşık 50mW'tır.
Daha düşük akımların aktarımı gerçekleşir ve bu yüzden aktif dengelemeye göre uzun sürer.	Daha yüksek akımların aktarımı gerçekleşir ve bu yüzden pasif dengelemeye göre kısa sürer.
Bir elektrikli otomobil için ortalama maliyeti yaklaşık 100 birimdir.	Bir elektrikli otomobil için ortalama maliyeti yaklaşık 1000 birimdir.
Kullanılan elemanların fazlalığından dolayı uzun süre uykuda bekleyen sistemlerde pasif dengeleme daha verimli olabilir.	

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Enerji depolama sistemlerine olan ihtiyacın gün geçtikçe artması ve teknolojinin gelişmesine müteakip; depolama sistemleri, bataryalar ve batarya yönetim sistemleri üzerine birçok çalışma yapılmış ve halen yapılmaya devam etmektedir. Bu çalışmaların bazıları akademik boyutta bazıları ise endüstriyel sahalarda uygulama boyutunda olmaktadır. Bu tez çalışmasında da bataryalar ve batarya yönetim sistemleri üzerine yapılan bilimsel çalışmalar için, literatür araştırması yapılmış ve literatürde mevcut olan bilimsel çalışmalardan faydalanılmıştır. Faydalan kaynakların seçilirken odak noktası BYS'ler olmuştur, ancak bunun yanında depolama sistemleri ile ilgili diğer detaylar üzerinde de durulmuştur.

Daowd ve arkadaşlarının çalışmasında, BYS'ler için ana kontrol metodu olan dengeleme tekniklerinden bahsedilmiştir. Depolama sistemlerinde neden dengeleme yapılması gerektiği üzerinde durulmuştur. Dengeleme çeşitleri detaylandırılarak dengeleme türleri belirtilmiştir. Farklı dengeleme yöntemlerine ait devre şemaları verilmiş ve devre şemaları tahlil edilmiştir. Önerilen dengeleme topolojileri için MATLAB&Simulink programında yapılan simülasyon verilerine göre devre tasarımı, dengeleme simülasyonu, uygulama, dengeleme hızı, karmaşıklık, maliyet, boyut, dengeleme sistemi verimliliği ve voltaj/akım stresi gibi kriterlere göre karşılaştırmalar sunulmuştur (Daowd, M. ve ark., 2011).

Saleh'in çalışmasında, depolama sistemlerinde bulunan batarya paketindeki hücrelerin gerilimini, akımını, paketin sıcaklığını izleyebilen ve hücre dengeleme yeteneği olan bir BYS'nin tasarlamasına değinilmiştir. Bu tezde, her bir pil hücresinin işlevini izleyerek zayıf olan hücreleri belirleyen ve bu hücrelerde iyileştirme yapmak üzere çalışan bir algoritma geliştirilmiştir. Çalışma, en son elde edilen bulgulardan çıkarımlar ile sonuçlandırılmıştır (Saleh, Y.B., 2021).

Lu ve arkadaşlarının çalışmasında, elektrikli araçlar için Li-ion tabanlı batarya teknolojilerinin yönetimi incelenmiştir. Li-ion bataryaların güvenli gerilim ve sıcaklık çalışma aralıklarına değinilmiştir. Analiz yolu ve pratik deneyimler ile batarya hücrelerinde voltaj ölçümü, pil durumu tahmini, pil tekdüzeliği ve BYS birleşimi gibi temel konulara yer verilmiştir. BYS'ler üzerine yapılacak çalışmalara ilham vermesi hedefiyle değerlendirmeler ve çıkarımlar yapılmıştır (Lu, L. ve ark., 2012).

Turğut'un çalışmasında, Li-ion teknolojili bataryalar için modüler yapıda BYS tasarlanmıştır. BYS mikrodenetleyici sistemler ve yardımcı elemanları ile oluşturulmuştur. Her hücre grubunu kontrol etmek üzere, hücre gerilim ve sıcaklık değerlerini izleyen modüller kullanılmıştır. Sistem, yardımcı modüllerden alınan verilerin kontrol alan ağı (CAN) yardımıyla ana kontrolcü modüle ulaştırılmasını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Ana modülde batarya şarj durumu tespit edilebildiği gibi, verilere göre kapasite farklılıklarını gidermek için pasif dengeleme yöntemi uygulanmıştır. Çalışmada yapılan testlere göre BYS'nin araç bataryasında da emniyetli şarj ve deşarj kontrolü yapabileceği belirtilmiştir (Turğut, M., 2018).

Reindl ve arkadaşlarının çalışmasında, mevcut BYS topolojileri güvenilirlik, ölçeklenebilirlik ve esneklik açısından sunulmuş ve değerlendirilmiştir. BYS'lerin merkezietçi yapılarının avantajları belirtilmiştir. BYS topolojileri ile ilgili yaklaşımlarda bulunulmuş, önerilen yaklaşımların özellikleri, avantajları ve üstesinden gelinmesi gereken zorlukları açıklanmıştır (Reindl, A. ve ark., 2020).

Baygüneş'in çalışmasında, elektrikli araçlarda da kullanılabilecek bir BYS sistemi tasarımı yapılmıştır. BYS, 20 adet seri batarya hücresini kontrol etmek üzere merkezi yapıda, mikroişlemciler içeren baskılı devre kartı (BDK/PCB) ve yardımcı elemanlarından oluşturulmuştur. Çalışmada Li-ion tabanlı bir depolama sisteminin, güvenli ve verimli çalışmasını sağlamak üzere; aşırı gerilim kontrolü, düşük gerilim kontrolü, pasif dengeleme tekniği kullanılarak gerilimlerin dengelenmesi ve sıcaklık koruması için termal koruma testleri yapılarak veriler kayıt altına alınmıştır. Tasarım ve testler sonucunda, çıkarımlarda bulunulmuştur (Baygüneş, B., 2019).

Gül'ün çalışmasında, elektrikli araçlar için BYS tasarımı üzerine çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda BYS için uygun özellikler belirlenmiş ve uygulama devresi kurulmuştur. BYS 12 adet Li-ion tabanlı hücre, 1 adet ana kontrolcü ve 1 adet yardımcı kontrolcü ile hayata geçirilmiştir. Yüksek güvenlik ve yüksek verim hedefleri doğrultusunda, BYS'nin tanımlanmış görevleri için testler yapılmış ve yapılan testler sonucunda performans değerlendirilmiştir (Gül, H.S., 2018).

Andrea tarafından yazılan kitapta, BYS'ler çok detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Kitapta BYS'lerin çeşitleri, tasarım aşamaları ve görevleri gibi birçok noktaya değinilmiştir. BYS teknolojilerinde karşılaşılan teknik zorluklar belirtilmiş ve etkin çözüm yolları üzerinde durulmuştur. Ayrıca Li-ion tabanlı batarya paketlerinde temel ihtiyaç olan BYS'lerin daha iyi anlaşılması kolaylaştırılmıştır. BYS'lerin ele alındığı en önemli kaynaklardan biridir (Andrea, D., 2010).

Rigan'ın çalışmasında, Li-ion batarya teknolojileri için BYS tasarımı yapılmıştır. BYS, 9 adet Li-ion bataryadan oluşan batarya paketini pasif dengeleme tekniği ile yönetmek ve sıcaklık kontrolü yapmak üzere kurulmuştur. Sistem PCB kart, entegreler ve yardımcı elemanlarından oluşturulmuştur. BYS türlerinden ana kart- yardımcı kart topolojisi kullanılmıştır. Çalışmada batarya hücrelerinde ölçümler yapılmış ve sonuçlar çıkarılmıştır (Rigan, M., 2020).

Karadeniz'in çalışmasında, Li-ion tabanlı depolama sistemlerinin teknik özellikleri, kimyasal özellikleri ve çalışma koşulları teorik olarak incelenmiştir. Bu kapsamda Li-ion tabanlı depolama teknolojilerinde kullanılmak üzere BYS tasarımı için ekipmanlar ve metotlar araştırılmıştır. Araştırmalar sonucunda hazır entegre BYS devresi, elektronik mikrodenetleyici ve yardımcı ekipmanlar kullanılarak tasarım yapılmıştır. BYS'de teknik olarak pasif hücre gerilim dengeleme tekniği ve sıcaklık kontrolü mevcuttur. BYS düşük gerilim, yüksek gerilim, aşırı şarj akımı ve aşırı deşarj akımı durumlarını kontrol edebilir özellikte tasarlanmıştır. Ayrıca BYS geleneksel haberleşme protokolleri sayesinde, haberleşme özelliği ile donatılmıştır (Karadeniz, O., 2017).

Scrosati ve arkadaşları tarafından yayınlanan derlemede; elektrikli araçlar, elektrikli araçlarda kullanılan bataryalar ve BYS'ler ile ilgili detaylı çalışmalar ve araştırmalar yapılmıştır. Elektrikli araçlarda kullanılan bataryalar ile ilgili yayınlanmış öncü yayınlardan biri de bu derlemedir (Scrosati, B. Ve ark., 2015).

Aldoğan'ın çalışmasında, BYS'lerin genel özellikleri anlatılmıştır. BYS tasarımı yapılmış ve tasarım üzerinde testler gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, verimi arttırmak için teknolojik gelişmelerle ortaya çıkan daha düşük güçte ve daha geniş gerilim aralıklarında çalışabilen entegrelerin kullanılması gerektiği, ayrıca işlemci ve izolatör birimlerinin iyileştirilmesinin faydalı olacağı şeklinde çıkarımlarda bulunulmuştur (Aldoğan, E., 2012).

Liu ve arkadaşlarının çalışmasında, batarya sistemi modelleme, batarya durum tahmini ve batarya şarjı dahil olmak üzere BYS'lerin birkaç temel teknolojileri üzerinde durulmuştur. İlk olarak elektrikli araçlarda kullanılan popüler batarya çeşitleri anlatılmış, ardından BYS'de kullanılan temel teknolojilerin tanıtımı yapılmıştır. Daha sonra batarya şarj durumu, batarya sağlık durumu ve dahili sıcaklık için batarya durumu tahminleri incelenmiştir. Son olarak, ilgili optimizasyon yöntemleriyle birlikte birkaç temel ve geleneksel pil şarj etme yaklaşımı tartışılmıştır (Liu, K. ve ark., 2019).

Özel'in çalışmasında, elektrikli araçlar için Li-ion tabanlı batarya hücrelerinin matematik modelleri, MATLAB&Simulink programında modellenmiştir. MATLAB&Simulink program çıktıları; test verileri ve Ansy programı ile yapılan termal analiz değerleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca Tesla markasına ait, S model aracın batarya paketine benzer bir modelleme yapılmıştır. Oluşturulan benzer model, Ansy program çıktıları ve araca ait katalog verileri ile de karşılaştırılmıştır (Özel, M.A., 2019).

Yong ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, elektrikli araç teknolojilerinde olan son gelişmeler, elektrikli araçların kullanılmasının yarattığı etkiler ve fırsatlar anlatılmıştır. Çalışmada elektrikli araçlarda kullanılan batarya çeşitlerine değinilmiş ve detaylı karşılaştırma yapılmıştır (Yong ve ark., 2015).

Kaypmaz'ın çalışmasında, Li-ion Polimer batarya hücrelerine ait kinetik parametreler elde edilmiş ve hücrelerin zoraki dolma veya boşalma hallerinde, bu parametrelerin değişimi incelenmiştir. Bazı hücre testleri için deneysel amaçlı çeşitli arıza durumları meydana getirilerek testler yapılmıştır. Testlerde bir hücrenin aşırı şarj, aşırı deşarj ve normal çalışma koşullarına göre parametrik değişimlerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Testler sonucunda değerlendirmeler yapılarak çıkarımlarda bulunulmuştur. Çalışmanın sonucunda, Li-ion polimer bataryaların sağlamlık durumunu analiz eden yeni bir MATLAB&Simulink modellemesi geliştirilmiştir (Kaypmaz, T.C., 2009).

Keskin'in çalışmasında, yakıt pilli ve bataryalı bir hibrit elektrikli araçta frenleme enerjisinin geri kazanılması ve enerji yönetiminin sağlanması üzerine çalışma yapılmıştır. Çalışmada güç talebinin büyük oranda yakıt pili tarafından sağlanması, ani ve negatif güçlerin ise batarya tarafından sağlanması olacak şekilde düşünülmüştür. Çalışma sonucunda elde edilen verilere sunulmuştur ve öngörülerde bulunulmuştur (Keskin, F., 2014).

Soydaş'ın çalışmasında, Li-ion batarya hücreleri ve BYS'ler incelenmiştir. BYS aktif dengeleme ve pasif dengeleme teknikleri kullanılarak tasarımlar yapılmıştır. Tasarımlarda mikrodenetleyiciler ve yardımcı elemanları kullanılmıştır. Yapılan tasarımlar test edilmiş ve sonuçların başarılı olduğu belirtilmiştir (Soydaş, Ş., 2015).

Özdemir'in çalışmasında, enerji depolama sistemlerinin en verimli ve en güvenli şekilde kullanılmasının sağlanması üzerine incelemeler yapılmıştır. Özellikle günümüzde yaygın olarak kullanılan Li-ion tabanlı bataryaların özelliklerine ve gereksinimlerine detaylı olarak değinilmiştir. Li-ion bataryalar için hata durumlarında koruma tedbirlerin alınması için BYS tasarımı yapılması ve tasarımın hayata geçirilmesi kapsamında, gömülü yazılım ile tasarlanan BYS için farklı koşullarda testler yapılması hedeflenmiştir. Çalışma sonucunda testler yapılarak sonuçlar çıkarılmıştır (Özdemir, M.C., 2017).

Haq ve arkadaşlarının çalışmasında, yüksek kapasiteli Lityum Ferro Fosfat batarya hücresinde, Destek Vektör Regresyonu (SVR/DVR) yaklaşımı ve Coloumb sayma metodu kullanılarak SOC tahmini yapılmıştır. Coloumb sayma metoduna ait matematiksel ifade açıklanmıştır (Haq, I. N. ve ark., 2015).

Muratori'nin çalışmasında, farklı çalışma koşullarını hesaba katan prizmatik bir pil hücresi içindeki sıcaklık dağılımını tahmin etmek için, iç sıcaklık dinamiklerini hesaba katan, genel bir modelleme metodolojisi önerilmiştir. Önerilen modelleme yaklaşımının, hem zaman hem de mekan açısından bir Li-ion pil hücresi sıcaklığının eksiksiz bir haritalandırılmasına izin verdiği belirtilmiştir (Muratori, M., 2009).

Richardson'un çalışmasında, elektrikli araçlar ve elektrik şebekesi ile ilgili mevcut literatür gözden geçirilmiştir. Elektrikli araçların elektrik şebekesine be yenilenebilir enerji entegrasyonu ile ilgili temel yöntemler ve varsayımlar tartışılmıştır. Elektrikli araçların ekonomik, çevresel ve elektrik şebekesine etkileri gözden geçirilmiştir. Elektrikli araçların yenilenebilir enerji kaynaklarına entegre yeteneği üzerine değerlendirmeler sonucunda: Rüzgar enerjisi-elektrikli araç entegrasyonunun, güneş enerjisi ve elektrikli araç entegrasyonundan daha karmaşık ve ayrıntılı olduğunu belirten yorumlar gibi önemeler ile gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur (Richardson, D. B., 2013).

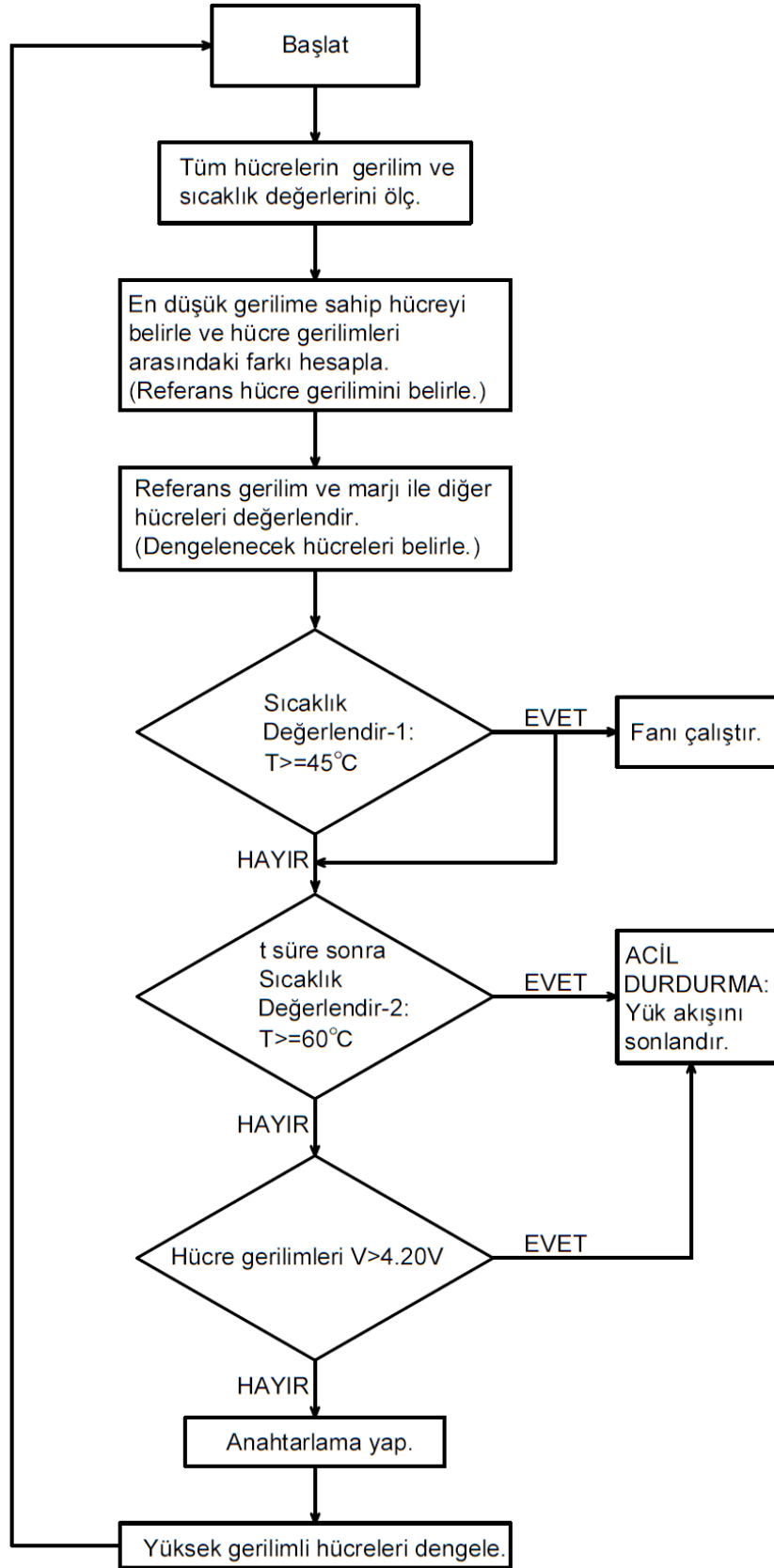
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında Li-ion tabanlı bir 3S batarya paketinin enerji depolaması için PLC Kontrollü Batarya Yönetim Sistemi (BYS) Tasarımı yapılmaktadır. Bölüm 1’de BYs’nin sahip olması gereken özellikler anlatılmaktadır. Bu bölümde ise tez çalışması için tasarlanan Li-ion tabanlı enerji depolama ünitelerinde kullanılabilecek, modüler tipte, pasif dengeleme kabiliyetine sahip, gerilim ve sıcaklık kontrollü bir BYs tasarımı, kurulumu ve çalıştırılması anlatılmaktadır. Sistem tasarımında kullanılan kontrolcü bilgilerine, kontrolcü sistem yazılımı tasarım algoritmasına, kullanılan materyallere ait teknik özelliklere, sistemin tasarım topolojisine, devre şemalarına, kontrol ve koruma parametrelerine yer verilmektedir. Bu tez çalışmasında devre tasarımları tez kapsamında yapılmıştır, kullanılan ekipmanlara ait devre şemaları ise üretici teknik veri sayfalarından yararlanılarak verilmiştir.

3.1. Yöntem

3.1.1. Anahtarlama Dirençli Pasif Dengeleme (ADPD) Tekniği Yöntemi

Dengeleme yöntemi olarak Anahtarlama Dirençli Pasif Dengeleme (ADPD) tekniği kullanılmaktadır. Pasif dengeleme tekniği, şarj durumunda uygulanabilen bir tekniktir. Çalışmada bu dengeleme tekniği kullanılırken iki farklı yöntem ile kontrol yapılarak hücreler dengelenmektedir. Birinci yöntemde bütün hücrelerin gerilimleri PLC kontrolcü tarafından ölçülür, minimum gerilim değerine sahip olan hücre belirlenir ve ölçülen gerilim değerleri arasındaki farklar hesaplanır. Daha sonrasında minimum gerilimli hücre referans alınarak belirli marjlar ile gerilimi fazla olan hücreler, referans gerilim değerine göre dengelemeye sokulur. Referans gerilim değeri ve marjı ile beraber, belirlenen gerilim seviyesini aşan hücreler dengeleme mekanizmasına girmiş olur. Kontrolcü tarafından dengelemeye sokulan batarya hücrelerindeki fazla olan enerji, hücrelere paralel bağlanan dirençler üzerinden, ince röle kontaklarının anahtarlama sağlanması sayesinde ısıya dönüştürülür. Böylece bütün hücrelerde yakın gerilim seviyeleri yakalanarak, dolum esnasında hücrelerin aşırı yüklenmesine engel olunur, hücreler ve batarya paketi korunur. Birinci yöntem için dengeleme algoritması Şekil 3.1’de verilmektedir.

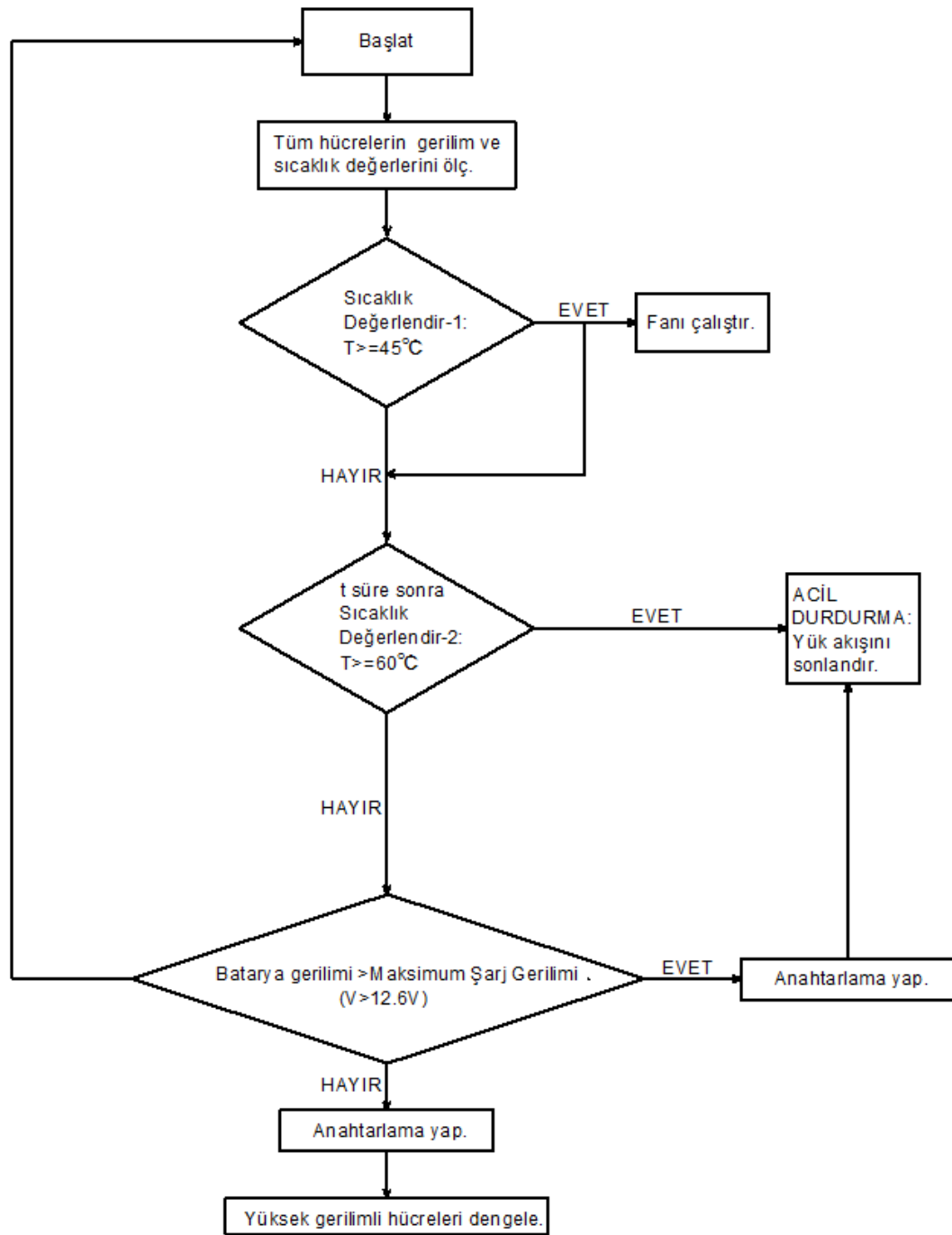


Şekil 3.1. Minimum referans gerilimli hücreye göre dengeleme algoritması

İkinci yöntemde ise hücreler için referans maksimum şarj gerilimi seviyesi referans alınarak dengeleme işlemi yapılmaktadır. Batarya paketi, hücrelerin teknik veri sayfalarında belirlenen normal maksimum şarj gerilimi (3x4.2V) değerine ulaştığında BYS yük akışını durdurarak batarya paketini koruma moduna geçirir. Ayrıca bu koruma işlemi yapılırken birinci yöntemdeki dengeleme durumu da devam etmektedir. Çalışmadaki test aşamasında normal maksimum şarj gerilim değerine ulaşılması yakın zaman için beklenen bir durum değildir, bundan dolayı bir referans maksimum şarj gerilim değeri belirlenir ve sistemde bu değere göre dengeleme yapılarak sistemin korunması sağlanır. Belirlenen referans maksimum şarj gerilimi değeri toplam normal maksimum şarj gerilimi (3x4.2V) değerinden küçük olmalıdır. İkinci yöntem için dengeleme algoritması Şekil 3.2’de verilmektedir.

Dengeleme tekniğinde en önemli noktalardan biri de anahtarlama dır. Çalışmada anahtarlama işlemini yapmak için ince röleler kullanılmaktadır. Fazla enerjinin paralel bağlı dirençler üzerinden ısıya dönüştürülmesi işleminde anahtarlama, ince röleler tarafından sağlanmaktadır. İnce röleler içerisinde bulunan bobin ve anahtarlama kontakları ile PLC’den komut alarak anahtarlama yaparlar. Ayrıca ince röleler üzerinde bulunan ledli göstergeler sayesinde dengeleme işlemi anlaşılabilir dır.

İki yöntemde de ortak amaç, batarya hücrelerinin şarj esnasında farklı gerilim seviyeleri ile yüklenmesinin önüne geçip dengesiz yük akışını engellemeyle hücre bütünlüğü sağlamak, aşırı ve dengesiz yüklenmenin önüne geçerek batarya paketinin ömrünün kısılmasına engel olmaktır. Çünkü batarya paketini oluşturan hücrelerin aynı seviyelerde şarj ve deşarj döngülerine maruz kalmaması, paketi oluşturan hücrelerin birbirlerinden çok farklı verim ve ömre sahip olması demektir, buda batarya paketinde bütünlüğü bozmaktadır. Aşırı yüklenme ise batarya verimini doğrudan düşürebilmesinin yanında ekzotermik patlamalar gibi tehlikeli durumlara da sebep olabilmektedir.



Şekil 3.2. Maksimum referans şarj gerilimi seviyesine göre dengeleme algoritması

3.1.2. Sıcaklık Kontrolü Yöntemi

Bir depolama sisteminde verimi etkileyen en önemli faktörlerden biri de sıcaklıktır. Sıcaklık aynı zamanda patlama ve yanma gibi problemleri ekzotermik reaksiyonlara sebep olabilecek parametrelerdendir. Bundan dolayı, BYS çalışmamızda hücre dengeleme tekniğinin yanında, kontrol ve koruma mekanizmasında sıcaklık kontrolü de bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan batarya hücreleri şarj operasyonlarında 0°C ile +45°C aralığında, deşarj operasyonlarında ise -20°C ile +60°C aralığında güvenli çalışabilmektedir. Şekil 1.2’de bataryanın güvenli çalışma bölgesi detaylandırılmıştır.

Çalışmada, sıcaklık kontrolü için LM35 sensörler aracılığıyla şarj operasyonu sırasında batarya paketinde oluşacak sıcaklık bilgisi alınır, alınan sıcaklık bilgisi LM35 dönüşüm sensörüne aktarılıp burada uygun formata dönüştürülür, dönüştürülen veriler analog modül üzerinden PLC’ye aktarılır. PLC sıcaklık değerlendirme algoritmasına göre: sıcaklık değeri batarya hücrelerinin güvenli çalışma sınırı olan +45 °C’ye geldiğinde fan devreye girer ve soğutma işlemine başlar. Fakat güvenli tarafta kalmak adına fan devreye girdiği halde soğutma gerçekleşmemesi durumu için PLC’de sıcaklık kontrolü devam eder, sıcaklık +60 °C’ye geldiğinde veri akışını tamamen durdurulur. Böylece sıcaklıktan dolayı oluşabilecek verim kayıpları önlenir ve güvenlik problemlerinin önüne geçilir. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’deki algoritmalarda sıcaklık kontrolü de detaylandırılmıştır.

3.2. Tasarım

3.2.1. Bataryada Kullanılan Li-Ion Pil

Bu çalışmada Power-Xtra marka, Power-Xtra-3.7V model şarj edilebilir Li-ion bataryalar kullanılarak batarya paketi oluşturulmuştur. Batarya nominal gerilimi 3.7V±0.05V, normal maksimum şarj gerilimi 4.20±0.05V ve kapasitesi ise 1500mAh olacak şekilde üretilmiştir. Bataryanın standart şarj akımı ve standart deşarj akımı 300mAh’dır. Power-Xtra-3.7V model batarya, bataryalar için önemli parametrelerden olan sıcaklık değerleri için şarj sırasında 0 °C ve 45 °C aralığında, deşarj sırasında ise -20 °C ve +60 °C aralığında güvenli çalışmaya imkan sağlamaktadır. Li-ion bataryalar kontrol edildiğinde yüksek verim elde edilebilen batarya modelleridir, aksi durumda yüksek verim beklenmez. Çalışmada, batarya yönetim sistemi ile bataryanın güvenli çalışma

aralıkları için ölçümler yapılarak bataryanın uygun olan aralıklarda çalışması sağlanır, güvenli çalışma aralıkları dışına çıktığında ise batarya şarj ya da deşarj durumu fark etmeksizin yükten ayrılır. Özellikle sıcaklık kontrolü bataryaların güvenli çalışması için çok önemlidir. Giriş bölümündeki Şekil 1.2’de Li-ion bataryaların güvenli çalışma aralıkları detaylandırılmıştır. Şekil 3.3’te ise bu tez çalışmasındaki batarya paketinde kullanılan bataryalara ait genel görünüm verilmektedir.



Şekil 3.3. Power-Xtra-3.7V Li-ion Batarya genel görünüm (Web 5, Power-Xtra 18650 1500mAh Datasheet, 2020)

3.2.2. Kontrolcü ve Yardımcı Elemanları

Bu tez çalışmasında geleneksel BYB’lerden farklı olarak, BYB’de ana yönetimi sağlamak için Programlanabilir Lojik Kontrolcü (PLC) kullanılmaktadır. Geleneksel çalışmalarda elektronik kartlar, hazır entegreler ve diğer yardımcı devre elemanları kullanılmaktadır. Bu çalışmada tasarlanan BYB ise PLC kontrolcü, kontrolcü analog ve dijital modülleri, bağlantı elemanları ve diğer yardımcı devre elemanlardan oluşur.

3.2.2.1. PLC Kontrolcü ve Giriş-Çıkış (I/O) Modülleri

Bu çalışmada Fatek Automation firmasının ürettiği FBs-40MA model Programlanabilir Lojik Kontrolcü (PLC) kullanılmaktadır. Entegre devrelerin aksine kontrol sistemlerinde entegre devrelere göre daha hızlı ve kolay programlanabilen

PLC'ler daha fazla operasyonel işlem kabiliyeti sunmaktadır. Kullandığımız PLC hem analog hem de dijital verileri tasarladığımız yazılım algoritmasına göre işleyerek istenilen kontrol mekanizması için uygun çıktılarını vermektedir. Çalışmamız için PLC programlama yapılırken en yaygın PLC yazılım dillerinden biri olan Ladder Diagram (LD) kullanılmaktadır, LD elektriksel devre mekanizmalarını temel alan iç içe bir algoritma tasarımına imkan sağladığı için "merdiven" olarak isimlendirilmektedir. PLC ile batarya paketindeki verilerin değerlendirilmesi, dengelenme işlemlerinin yapılması, koruma işlemlerinin gerçekleştirilmesi için gerilim ve sıcaklık kontrolleri yapılarak batarya paketinin maksimum verimde çalışması sağlanmaktadır. Ayrıca veriler fiziksel ya da kablosuz haberleşme protokolleriyle ana kontrolcü ile haberleşebilen HMI ekran üzerinden görselleştirilerek raporlanmaktadır, böylece batarya paketindeki akım, gerilim, sıcaklık gibi istenilen veriler ekran üzerinden görüntülenmektedir. Şekil 3.4'te PLC için genel görünüş verilmektedir.

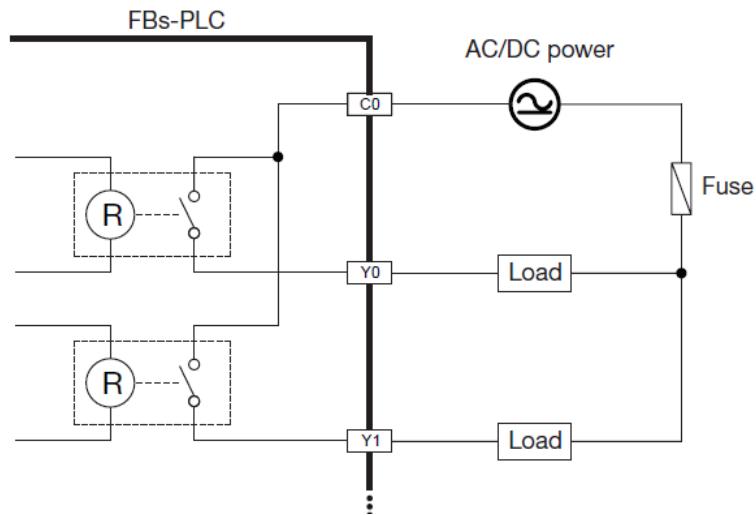
Endüstriyel uygulamalarda sıkça tercih edilen FBs-40MA model PLC özellikleri aşağıdaki gibidir:

- 2 adet yüksek hız-100kHz dijital giriş/input (2xDI)
- 6 adet orta hız-20kHz dijital giriş/input (6xDI)
- 8 adet orta hız-5kHz dijital giriş/input (8xDI)
- 8 adet orta düşük hız dijital giriş/input (8xDI)
- 16 dijital çıkış/output (16xDO-röle)
- Arttırılabilir giriş ve çıkışlar
- Analog modül bağlantısı (Analog-Dijital dönüştürücüler ve sıcaklık modülleri girişi)
- Besleme gerilimi: 100~ 240 V AC, 24 V DC - 400 mA besleme çıkışı
- Güç Tüketimi: 1.5-1.8W
- DC giriş besleme ters bağlantı koruması
- Dahili program hafızası

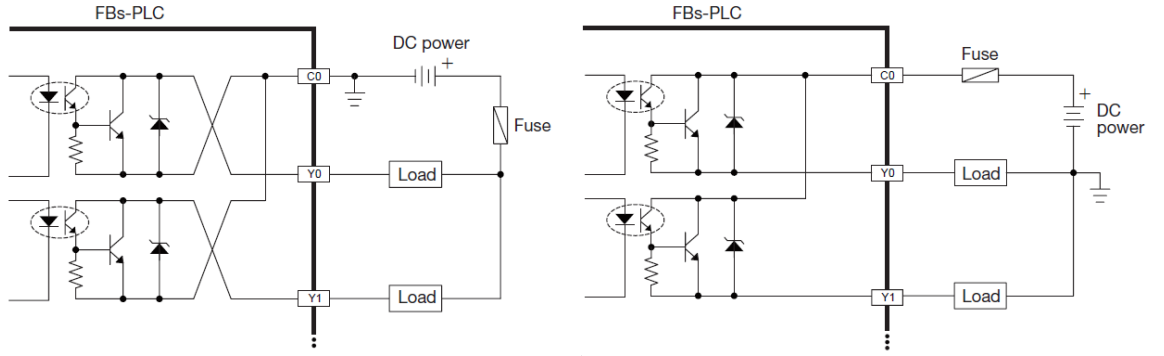


Şekil 3.4. PLC genel görünüm (Web 6)

PLC’de Röle ve Transistör (NPN/PNP) olmak üzere iki çeşit çıkış devresi vardır. Bu tez çalışmasında röle çıkışlı PLC kullanılmaktadır. Röle çıkış devreleri Şekil 3.5’te ve Transistör (NPN/PNP) çıkış devreleri ise Şekil 3.6’da verilmektedir.



Şekil 3.5. PLC röle çıkış devresi (Web 6)



Şekil 3.6. PLC transistör çıkış devreleri (Web 6)

3.2.2.2. Analog Modül

Çalışmamızda PLC'ye entegre edilebilir Fatek Automation firmasına ait fbS-6AD model analog modül kullanılmaktadır. Bu modül sayesinde ihtiyaç duyduğunda analog verileri dijital verilere dönüştürülebilmektedir ve ayrıca çalışmamızda batarya paketi sıcaklık kontrolü için kullanılan sıcaklık ölçüm sensörlerinden alınan analog veriler (0-10mV) LM35 dönüştürücüde 0-10V'a çevrilir ve PLC'de bu alınan veriler (0-10V) işlenerek gerekli koruma işlemi için yönetim sağlanır. Analog modülün genel görünüşü Şekil 3.7'de verilmektedir.



Şekil 3.7. PLC analog modül genel görünüm (Web 7)

Analog PLC modülün özellikleri aşağıdaki gibidir:

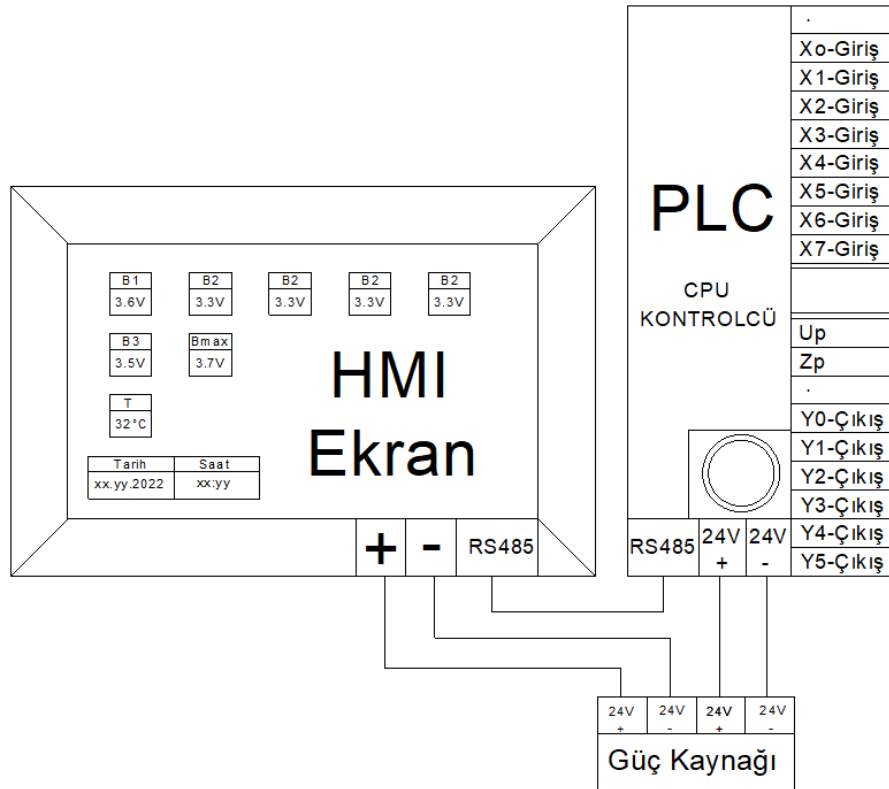
- Besleme gerilimi: 24VDC (20.4VDC ~ 28.8VDC) (-15% ~ +20%)
- Güç tüketimi: 3,2W(max.)
- Analog giriş sayısı: 6 kanal
- Bipolar analog giriş gerilim aralığı: $\pm 10V / \pm 5V$
- Bipolar analog giriş akım aralığı: $\pm 20mA / \pm 10mA$
- Unipolar analog giriş gerilim aralığı: 0-10V / 0-5V
- Unipolar analog giriş akım aralığı: 0-20mA / 0-10mA
- Gerilim çözünürlüğü: 0.3mV (5V/16384)
- Akım çözünürlüğü: 0.61 μ A (10mA/16384))
- Haberleşme modu: RS485 fiziksel protokol
- Sıcaklık toleransı: (-25°C) –(+70°C)

3.2.2.3. HMI Görüntüleme Sistemi

Çalışmada verilerin gösterildiği bir ekran mevcuttur. PLC’de işlenen verilerin görüntülenmesini sağlayan Delta Elektronik firmasının ürettiği, DOP-107BV model insan ve makine/sistem arasında bağlantı görevi gören Human Machine Interface (HMI) görüntüleme sistemi kullanılmaktadır. HMI sistem RS485 ya da RS232 fiziksel haberleşme protokolleri aracılığıyla PLC ile bağlantı kurabilmektedir. İstenirse ek haberleşme modülü ile kablosuz haberleşme için, entegrasyon imkanı sağlamaktadır. Şekil 3.8’de HMI ekran genel görünüm, Şekil 3.9’da ise görüntüleme devre şeması verilmektedir.



Şekil 3.8. HMI ekran genel görünüm (Web 8)



Şekil 3.9. HMI görüntüleme sistemi devre şeması

3.2.3. DC Güç Kaynağı

Ortalama olarak, toplamda 5W tüketimi bulunan PLC, analog modül, HMI görüntüleme sistemi, soğutma sistemi fanı, röleler ve LM35 modül 24V DC güç kaynağı üzerinden beslenmektedir. Kullanılan DC güç kaynağı 100-240V-AC giriş gerilimini, 24V-DC çıkış gerilimine dönüştürerek enerji sağlama görevini yerine getirmektedir.

3.2.4. Batarya Şarj Cihazı

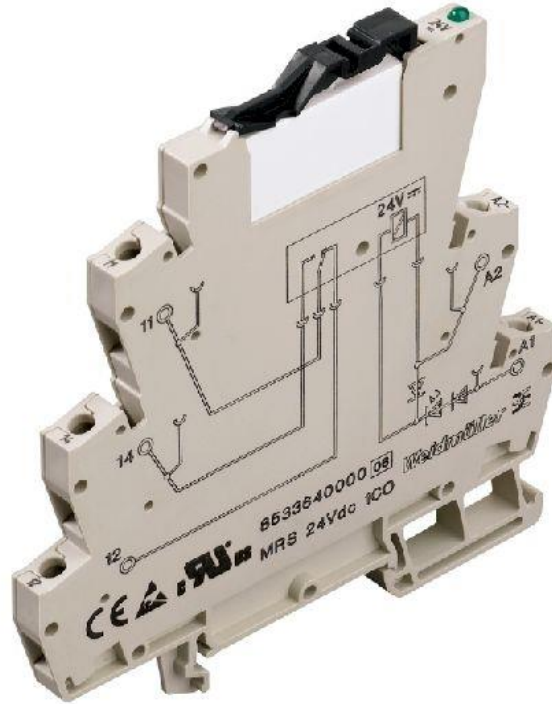
Çalışmamızda kullanacağımız anahtarlamalı dirençli pasif dengeleme tekniği için batarya paketini şarj döngüsüne sokmamız gerekmektedir, pasif dengeleme işlemi sadece şarj döngüsünde gerçekleştirilebilmektedir. Şarj edilebilir bataryalar olarak bilinen 18650 seri bataryalar, 18650-DC şarj cihazı ile ya da dijital güç kaynağı ile şarj edilebilir. Bu tez çalışmasında 3 adet Li-ion bataryadan oluşan 3S batarya paketimizi şarj döngüsüne sokmak için dijital güç kaynağı kullanılmaktadır.

3.2.5. Dengeleme Dirençleri

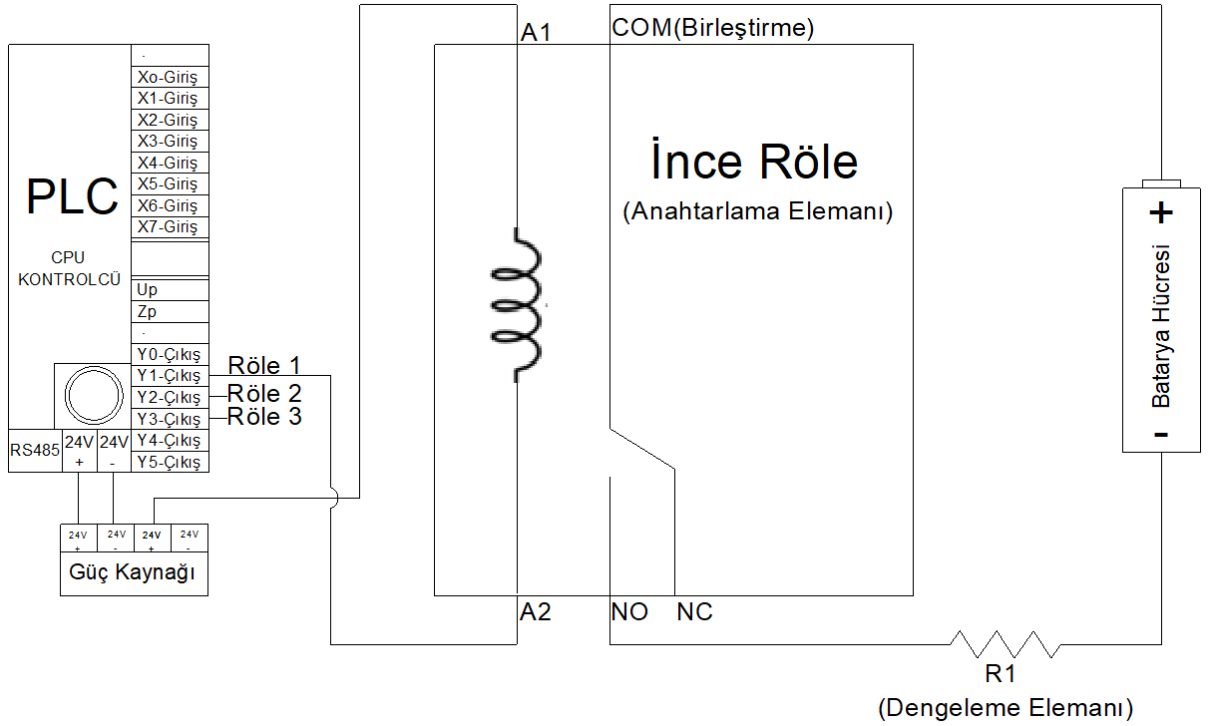
Çalışmamızda kullandığımız Anahtarlamalı Sabit Dirençli Pasif Dengeleme yönteminde fazla enerjinin ısıya dönüştürülerek tüketilmesine olanak sağlayan sabit dirençler kullanılmaktadır. Dengeleme algoritmasının $3.7\pm 0.05V$ gerilim değerlerinde çalışması düşünülür, ancak şarj sırasında olası gerilim yükselmeleri olabileceği düşünüldüğünde dengeleme algoritma gerilimi, bataryanın nominal gerilim değeri olan $3.7\pm 0.05V$ ve maksimum şarj gerilimi $4.20\pm 0.05V$ aralığında bir değere yükselebilir, bu aralık maksimum çalışma aralığıdır ve bundan dolayı sabit direnç üzerinde oluşan akım yaklaşık olarak sabit kabul edilebilir. Batarya hücrelerinin maksimum şarj akım değeri göz önünde bulundurularak pasif dengeleme için uygun büyüklükte dengeleme dirençleri seçilir. Bu çalışmada kullanılan hücre için standart şarj akım değeri olan 300mA(0.2C) değeri de göz önünde bulundurularak, 100-300mA aralığında yük çekebilecek, 14-42Ω değer aralığında dirençler seçilebilmektedir.

3.2.6. İnce Röleler (Anahtarlama Elemanları)

Depolama sistemleri için pasif dengeleme tekniğinde en önemli parametrelerden biri de anahtarlama elemanıdır. Bu çalışmada anahtarlama işlemi yapmak için ince röleler kullanılmaktadır. Enerji verilen röle bobininde elektrik alandan dolayı mıknatıslanma oluşur, bobinde oluşan mıknatıslanmadan dolayı anahtarlama kontakları pozisyon değiştirmek üzere çekilir, röle kontaklarından normal kapalı pozisyonda olan kontak, normal açık pozisyonuna gelerek devre üzerinden akım geçmesini sağlar. Çalışmada röle, direnç devresinin önüne seri bağlı halde bulunmaktadır, dengeleme operasyonu için PLC'den komut alan röle kontak hareketlerini direnç üzerinden akım geçecek şekilde yaparak fazla enerjinin ısıya dönüştürülmesini sağlar ve böylece dengeleme yapılır. Röleler ledli göstergeleri sayesinde, yapılan operasyonun gerçekleşme anında fiziksel olarak anlaşılmasına olanak tanır. Şekil 3.10'da röleler için genel görünüm ve Şekil 3.11'de ise anahtarlama devre şeması verilmektedir.



Şekil 3.10. İnce Röle genel görünüm (Web 9)



Şekil 3.11. Anahtarlama devre şeması

3.2.7. LM35 Sıcaklık Sensörü

Batarya sistemlerinde verimi en çok etkileyen parametrelerin başında sıcaklık gelmektedir. Sıcaklık değerinin batarya paketinde kullanılan hücreler için izin verilen sınırlar içerisinde olması son derece önemlidir, Şekil 3.1'de belirtilen güvenli çalışma sınırları detaylandırılmıştır. Sıcaklık açısından güvenli çalışma sınırları içerisinde çıkan bataryalarda, aşırı ısınmalardan dolayı yüksek oranda verim düşüşleri ve kapasite kayıpları yaşanmasının yanında termal kaçaklar, ekzotermik bozunmalar, çözünmeler, erimeler, kısa devre akımları ve patlamalar gibi güvenlik zafiyetleri yaşanabilmektedir.

LM35 serisi sensörler, lineer çıkış voltajına sahip hassas entegre devre sıcaklık sensörleridir. Bu çalışmada kullandığımız LM35 sıcaklık sensörü sayesinde batarya paketimizin aşırı ısınma sorunlarının önüne geçilmektedir. LM35 sıcaklık sensörü ile batarya paketinde sıcaklık ölçümü yapılır ve analog modüller üzerinden PLC'de veriler işlenir, güvenli çalışma sınırlar dışına çıkılması durumunda fanlar devreye sokulup soğutma işlemi sağlanır ve gerekirse yük akışı sonlandırılabilir. Böylece termal koruma sağlanmış olur.

LM35 sıcaklık sensörü özellikleri aşağıdaki gibidir (Texas Instruments, 2017):

- Sıcaklıkla doğru orantılı olarak çıkış gerilimi veririler.
- -55°C ve 150°C sıcaklık aralığında operasyon kabiliyetleri bulunmaktadır.
- Yaklaşık olarak $60\mu\text{A}$ değerlerinden az akım çekerler bu sebepten dolayı çalışma esnasında kendi üzerinde ısı oluşumu çok düşüktür.
- 4-30V gerilim aralığında çalışırlar.
- Çıkış empedansı: 1mA yük için 0.1Ω
- Maksimum çıkış akımı: 10mA
- Maksimum çıkış voltajı: 6V
- Minimum çıkış voltajı: -1V
- Sıcaklıktan etkilenmezler.
- Çıkış empedansları çok düşük olacak şekilde üretildikleri için, verilen voltaj ölçülürken hata payları düşüktür.

LM35 sıcaklık sensörü çalışma prensibi:

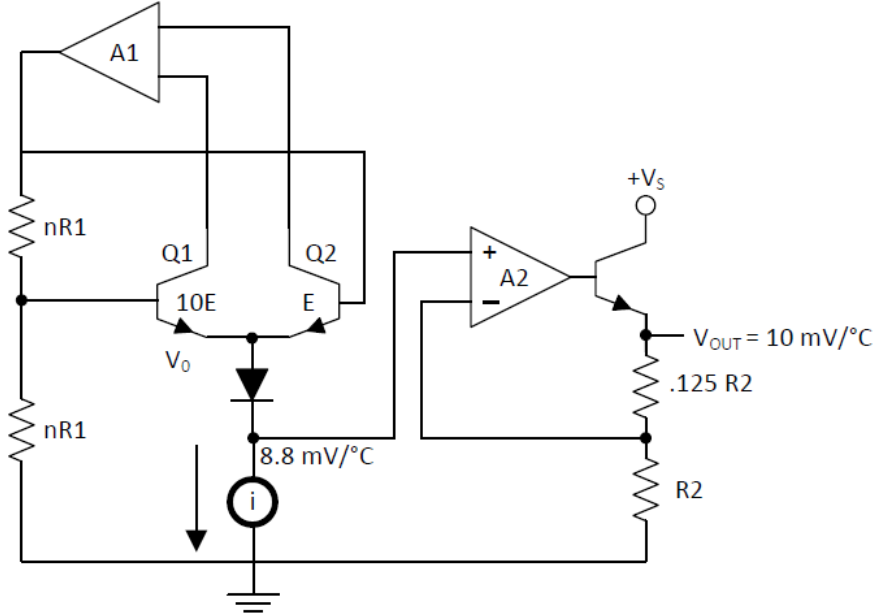
4-20V gerilim aralığında bir gerilim ile beslenen LM35 sıcaklık ile doğru orantılı olarak çıkış gerilimi verir, her 10mV'luk değişim 1°C 'ye eşittir ve ayrıca LM35 0°C için ise özel olarak 0V çıkış verir. $^{\circ}\text{C}$ cinsinden ortam sıcaklığı T için çıkış voltajı $T \times 10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ olarak değerlendirilir. Eşitlik 3.1'deki gibi formülize edilir. (Texas Instruments, 2017). Örnek olarak: 12°C batarya sıcaklığında, LM35 sensörde 120mV çıkış gerilimi görülür. Ayrıca daha sonraki kontrol aşamasında, PLC kontrol mantığı gereği LM35 dönüşüm modülünde bu 120mV sensör çıkış gerilim değeri, 0-10V aralığında dönüştürülür ve kontrolcüye veri sağlanır.

$$V_{\text{çıkış}} = 10\text{mV}/^{\circ}\text{C} \times T \quad (3.1)$$

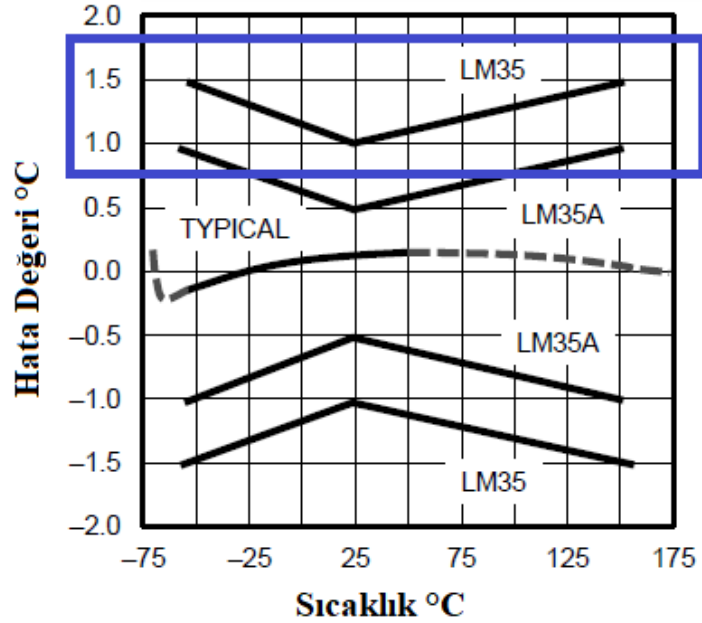
LM35 sıcaklık sensörü prensip devre şeması ve detayları:

LM35 sıcaklık sensörü 3 pin ve ana gövdeden oluşan bir devre elemanıdır. Birinci pin 4-30V arası besleme gerilimi sağlar, ikinci pin izolasyon bağlantısını sağlar, üçüncü

pin ise sıcaklığa göre $0\text{mV}/^\circ\text{C}$ veya $10\text{mV}/^\circ\text{C}$ çıkış gerilimi ile LM35 dönüşüm modülüne besleme yapar, verilerin analog modül üzerinden PLC’de değerlendirilmesini sağlar. Şekil 3.12’de LM35 fonksiyonel devre şeması ve Şekil 3.13’te LM35 sıcaklık doğruluk grafiği verilmektedir.



Şekil 3.12. LM35 fonksiyonel devre şeması (Texas Instruments, 2017)



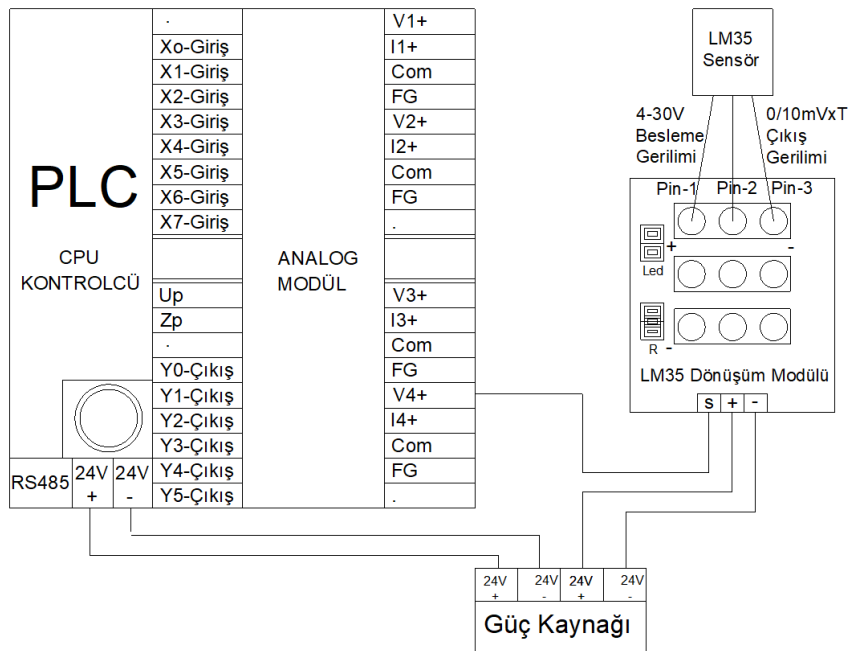
Şekil 3.13. LM35 sıcaklık doğruluk grafiği (Texas Instruments, 2017’den modifiye edilmiştir)

3.2.8. LM35 Sıcaklık Sensörü Dönüşüm Modülü

Çalışmada LM35 sıcaklık sensöründen gelen çıkış verilerini PLC analog modül üzerinden PLC'ye gönderen, LM35 Dönüşüm Modülü kullanılmaktadır. LM35 sıcaklık sensöründen gelen $0 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ veya $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ gerilim değerleri Dönüşüm Modülün'de $0-10\text{V}$ 'a çevrilir ve PLC'de bu alınan veriler ($0-10\text{V}$) işlenerek gerekli koruma işlemi için yönetim sağlanır. Şekil 3.14'te LM35 Dönüşüm Modülü genel görünüşü ve Şekil 3.15'te ise sıcaklık kontrol devresi verilmektedir.



Şekil 3.14. LM35 Dönüşüm Modülü genel görünüm (Web 11)



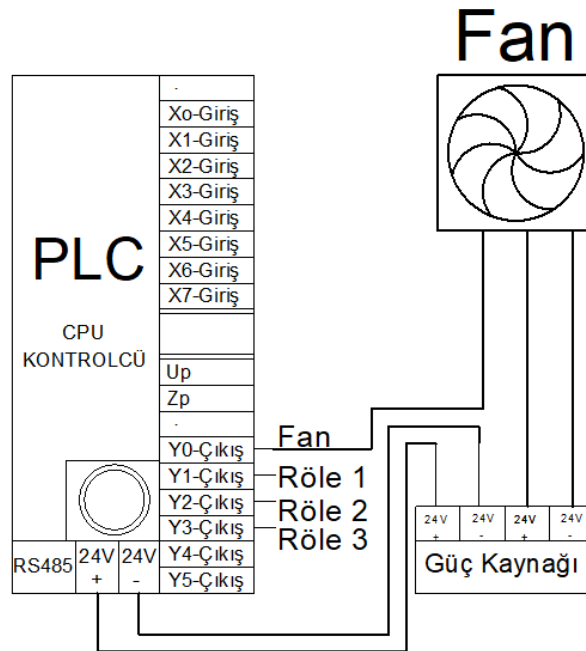
Şekil 3.15. Sıcaklık kontrol devresi

3.2.9. Soğutucu Fan

Batarya paketinin hem yüksek verimde hemde güvenle çalışabilmesi için sıcaklık yüksek öneme sahip bir parametredir. Batarya paketinin operasyon çalışma sınırı değerleri ve güvenli çalışma sınırı değerleri dışına çıktığında, verimin düşmesini engellemek ve güvenlik sorunlarının önüne geçmek için soğutucu fan devreye girerek soğutma işlemi yapmaktadır. Çalışmamızda bir adet 24V endüstriyel soğutucu fan kullanılmaktadır. Şekil 3.16'da soğutucu fan için genel görünüş ve Şekil 3.17'de fan kontrol devresi verilmektedir.



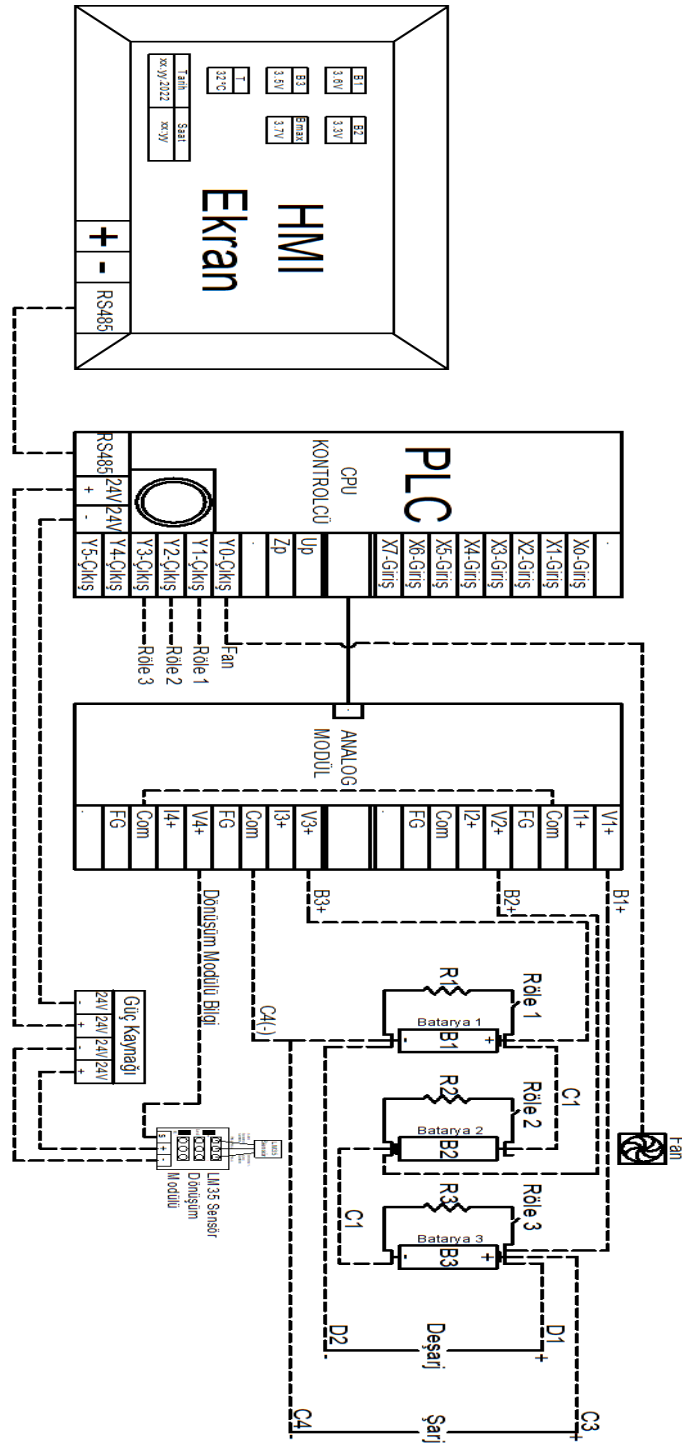
Şekil 3.16. Soğutucu fan genel görünüm



Şekil 3.17. Fan kontrol devresi

3.3. BYS Ana Devre Şeması

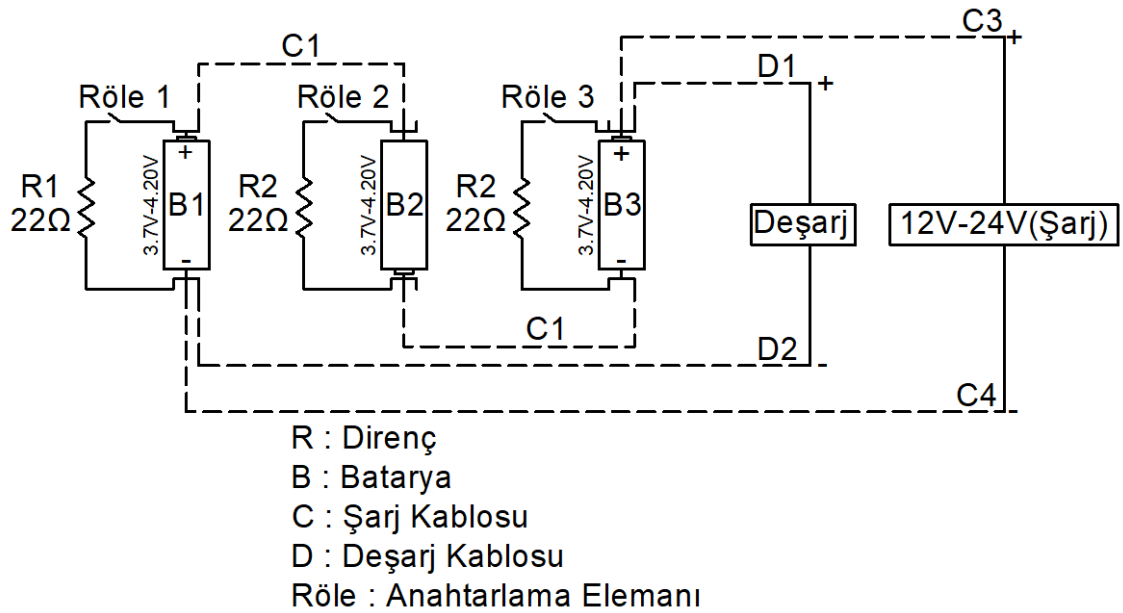
Tez çalışmasında PLC kontrollü BYS için devre şemaları, kontrolcü yazılımı ve sistem çalışma algoritması tasarlanmıştır; seçilen ekipman iç devrelerine ise ayrıca yer verilmiştir. Bütün devre elemanlarını ve devre ana bağlantılarını içeren, sistem topolojisini gösteren BYS ana devre şeması Şekil 3.18’de verilmektedir.



Şekil 3.18. BYS ana devre şeması

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında elektrikli araçlar için sıkça kullanılan Li-ion tabanlı bataryalarda kontrol, kumanda ve koruma sağlayan; pasif dengeleme tekniği ile donatılmış bir PLC Kontrollü BYS Tasarımı yapılmış, sistem kurulmuş, çalıştırılmış ve test edilmiştir. Çalışmada 3S batarya paketi için 3 adet Li-ion tabanlı batarya kullanılmıştır. Tasarımda kullanılan diğer ekipmanlar: PLC kontrolcü, analog PLC kontrol modülü, ince röleler (anahtarlama elemanları), dengeleme dirençleri, sıcaklık sensörü, sıcaklık sensörü dönüşüm modülü (sürücü), soğutucu fan, DC güç kaynağı, batarya şarj cihazı ve diğer bağlantı elemanlarıdır. Dengeleme işlemi için 22Ω direnç kullanılmıştır. Sistem kurulduktan sonra belirli testler yapılarak sistemin çalışabilirliği test edilmiştir. Ayrıca sistem verileri kayıt altına alma yeteneğine sahiptir. Şekil 4.1'de çalışmada tasarladığımız 3S batarya paketinin devre şeması ve Şekil 4.2'de ise BYS genel görünüşü verilmektedir.



Şekil 4.1. 3S batarya paketi devre şeması

Anahtarlama dirençli pasif dengeleme tekniği ile testler yapılırken iki yöntem kullanılmaktadır. Birinci yöntem minimum referans gerilimi tespit edilerek pasif dengeleme, ikinci yöntem ise maksimum referans şarj gerilimi seviyesine göre dengelemedir. Ayrıca sistemde maksimum normal şarj gerilimi koruması da mevcut olduğu için, batarya hücrelerinin dayanabileceği 4.20V şarj gerilimi ölçüldüğü durumda,

sistem koruma moduna sokularak veri akışı durdurulmaktadır, böylece yanma ve patlama gibi ekzotermik reaksiyonların önüne geçilerek güvenlik sağlanmaktadır. Bu yöntemler ile bataryaların gerilimleri ölçülmüş ve dengelemeye girme durumları test edilmiştir.

Minimum referans gerilimli hücre ve dengeleme marjına göre pasif dengeleme testi için tüm hücrelerin gerilimleri ölçülmektedir. Ölçüm sonuçlarında, en düşük gerilime sahip hücrenin 2.40V gerilim ile 2. hücre olduğu tespit edilmektedir. Bundan dolayı dengeleme işlemi 2. hücre referans alınarak yapılmaktadır. Dengeleme marj değeri 0.2V olarak belirlendiğinde, $2.40V+0.2V$ değerinin üzerinde olan 1. hücre ve 3. hücre dengelemeye girmekte ve dengeleme operasyonu için röleler anahtarlama yapmaktadır. 2. Hücre bu değer altında olduğu için dengelemeye girmemektedir. Anahtarlama yapılan hücrelerin dengeleme durumları röle led göstergelerinin yanması ile anlaşılmaktadır. Çizelge 4.1'de 0.2V dengeleme marjı için dengeleme detayları verilmektedir.

Çizelge 4.1. Minimum referans gerilimli hücre ve 0.2V dengeleme marjına göre pasif dengeleme

Batarya Hücreleri	Hücre Gerilimi(V)	Dengeleme Durumu(1/0)	Anahtarlama Durumu (Led Yanıyor/ Led Yanmıyor)
Hücre 1	2.70	1	Var/Led yanıyor
Hücre 2	2.40	0	Yok/Led yanmıyor
Hücre 3	2.80	1	Var/Led yanıyor

Hücre dengeleme marj değeri 0.2V'dur.

Birinci testten sonra, deşarj gerilim uçlarından batarya paketi bir süre deşarj edilip tekrardan şarj döngüsüne sokulmaktadır. Minimum referans gerilimli hücre ve dengeleme marjına göre pasif dengeleme testi için tüm hücrelerin gerilimleri tekrardan ölçülmektedir. Ölçüm sonuçlarında, en düşük gerilime sahip hücrenin 2.20V gerilim ile 1. hücre olduğu tespit edilmektedir. Bundan dolayı dengeleme işlemi 1. hücre referans alınarak yapılmaktadır. Dengeleme marj değeri 0.3V olarak belirlendiğinde, $2.20V+0.3V$ değerinin üzerinde olan 3. Hücre dengelemeye girmekte ve dengeleme operasyonu için röleler anahtarlama yapmaktadır. 1. hücre ve 2. hücre bu değer altında olduğu için dengelemeye girmemektedirler. Anahtarlama yapılan hücrelerin dengeleme durumları röle led göstergelerinin yanması ile anlaşılmaktadır. Çizelge 4.2'de 0.3V dengeleme marjı için dengeleme detayları verilmektedir.

Çizelge 4.2. Minimum referans gerilimli hücre ve 0.3V dengeleme marjına göre pasif dengeleme

Batarya Hücreleri	Hücre Gerilimi(V)	Dengeleme Durumu(1/0)	Anahtarlama Durumu (Led Yanıyor/ Led Yanmıyor)
Hücre 1	2.20	0	Yok/Led yanmıyor
Hücre 2	2.40	0	Yok/Led yanmıyor
Hücre 3	2.70	1	Var/Led yanıyor

Hücre dengeleme marj değeri 0.3V'dur.

İkinci testten sonra, deşarj gerilim uçlarından batarya paketi tekrar bir süre deşarj edilip ve sonra tekrardan şarj döngüsüne sokulmaktadır. Minimum referans gerilimli hücre ve dengeleme marjına göre pasif dengeleme testi için tüm hücrelerin gerilimleri tekrardan ölçülmektedir. Ölçüm sonuçlarında, en düşük gerilime sahip hücrenin 1.70V gerilim ile 1. hücre olduğu tespit edilmektedir. Bundan dolayı dengeleme işlemi 1. hücre referans alınarak yapılmaktadır. Dengeleme marj değeri 0.6V olarak belirlendiğinde, $1.70V+0.6V$ değerinin üzerinde olan hücreler dengelemeye girmelidir. Ancak bütün hücre gerilim değerleri $1.70V+0.6V$ gerilim değerinin altında olduğu için hiçbir hücre dengelemeye girmemektedir. Anahtarlama yapılan hücrelerin dengeleme durumları röle led göstergelerinin yanması ile anlaşılmaktadır. Çizelge 4.3'te 0.6V dengeleme marjı için dengeleme detayları verilmektedir.

Çizelge 4.3. Minimum referans gerilimli hücre ve 0.6V dengeleme marjına göre pasif dengeleme

Batarya Hücreleri	Hücre Gerilimi(V)	Dengeleme Durumu(1/0)	Anahtarlama Durumu (Led Yanıyor/ Led Yanmıyor)
Hücre 1	1.70	0	Yok/Led yanmıyor
Hücre 2	1.90	0	Yok/Led yanmıyor
Hücre 3	2.10	0	Yok/Led yanmıyor

Hücre dengeleme marj değeri 0.6V'dur.

Maksimum referans şarj gerilimi seviyesine göre dengeleme yöntemi için, tüm hücrelerin gerilimleri ölçülür. Tüm hücreler için normal maksimum şarj gerilimi değeri 4.20V'dur, toplamda 12.60V aşıldığında sistem acil durdurma moduna geçer ve yük akışı durdurularak sistem korumaya alınır. Ancak 12.60V gerilim seviyesine ulaşılmayacağı için sistemde kapanma söz konusu olmamaktadır, çünkü bu durum güvenli çalışma aralıkları dışına çıkmadığında gerçekleşecek bir durumdur, nadiren yaşanması beklenir. BYS'nin çalışabilirliğini test edebilmek amacıyla maksimum referans şarj gerilimi, sistem çıkışı için 6V olarak belirlenmiştir. Sistem çıkış gerilimi 6V ve üstüne ulaştığında dengelemeyle sistem stop konumuna geçerek kendisini korumaya almaktadır. Ayrıca dengeleme marj değeri yine 0.6V seçilerek minimum gerilimli hücre ve dengeleme marj değerine göre dengeleme de devam etmektedir. Çizelge 4.4'te normal maksimum referans şarj gerilimi ve test maksimum referans şarj gerilimine göre pasif dengeleme için dengeleme detayları verilmektedir.

Çizelge 4.4. Normal maksimum referans şarj gerilimi ve test maksimum referans şarj gerilimine göre pasif dengeleme

Batarya Hücreleri	Hücre Gerilimi(V)	6V Dengeleme Durumu (1/0)	Anahtarlama Durumu (Led Yanıyor/ Led Yanmıyor)		Sistem Durumu
			12.60V Dengeleme Durumu(1/0)		
Hücre 1	2.40	0	Yok/Led yanmıyor	0	Çalışıyor
Hücre 2	2.90	0	Yok/Led yanmıyor	0	Çalışıyor
Hücre 3	2.50	0	Yok/Led yanmıyor	0	Çalışıyor
Sistem	7.80	1	Var/Led yanmıyor	0	Çalışmıyor

Test amaçlı maksimum referans şarj gerilimi 6V

Ayrıca BYS’de sıcaklık durumu test edilmektedir. PLC kontrolcü tarafından LM35 sıcaklık sensörü dönüşüm modülü üzerinden, LM35 sıcaklık sensörüyle sıcaklık ölçülmektedir. Bataryaların izin verdiği güvenli çalışma aralıkları; şarj operasyonlarında 0°C ile +45°C aralığında, deşarj operasyonlarında ise -20°C ile +60°C aralığındadır. BYS yönetim algoritması, bu güvenli sıcaklık aralıklarına göre kontrol sağlamaktadır. Test aşamasında, batarya paketinde normal olarak yüksek sıcaklık değeri görülmediği için, test aşamasını gerçekleştirmek amacıyla ısıtılmış metal parçası veya doğrudan ateş kaynağı ile anormal sıcaklık artışı sağlanır. Sıcaklık değeri +45°C’ye geldiğinde soğutucu fan devreye girerek soğutmaya başlar. Soğutucu fan çalıştığı halde sıcaklık değeri düşmemekte ve +60°C’ye yükseldiğinde ise sistem acil durdurma moduna geçer ve yük akışı durdurularak sistem kapatılır. Çizelge 4.5’de sıcaklık durum kontrolü ve sistem koruması için detaylar verilmektedir.

Çizelge 4.5. Sıcaklık durum kontrolü ve sistem koruması

Sıcaklık(°C)	Fan Durumu	Sistem Durumu
27	Devrede değil	Çalışıyor
47	Devrede	Çalışıyor
66	Devrede değil	Çalışmıyor

T>=+45°C ve T>=+60°C güvenli çalışma sınırları kontrol edilmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada elektrikli araçlarda sıkça kullanılan Li-ion tabanlı enerji depolama sistemleri için PLC Kontrollü BYS tasarımı yapılmıştır. BYS sistemi tasarımı yapılırken anahtarlama dirençli pasif dengeleme tekniği kullanılmıştır. Anahtarlama pasif dengeleme tekniğini gerçekleştirmek üzere, minimum referans gerilimi tespit edilerek pasif dengeleme ve maksimum referans şarj gerilimi seviyesine göre pasif dengeleme yöntemleri için ortak devre kurulmuştur. 3S batarya paketinden oluşan devrede, farklı senaryoları değerlendirmek amacıyla referans gerilim değerleri belirlenmiş ve test verileri kayıt altına alınmıştır. Yapılan testlerde, anahtarlama elemanı olan rölelerde bulunan ledli göstergeler sayesinde, dengeleme işlemleri fiziksel olarak da takip edilmiştir. Testler sırasında tüm veriler dokunmatik HMI görüntüleme sistemi üzerinden takip edilmiştir.

Kaydedilen dengeleme test verilerinde de görüleceği üzere BYS sayesinde dengesiz yüklenen hücrelerde, pasif dengeleme tekniği ile yük dengesinin sağlanabileceği görülmüştür. Ayrıca maksimum gerilim seviyeleri aşıldığında sistemin korumaya alınması başarıyla gerçekleşmiş, oluşabilecek verim kayıpları ve ekzotermik reaksiyonlar gibi olumsuz senaryoların önüne geçilmiştir. Böylece batarya paketinde istenmeyen yüklenme senaryolarının önüne geçilebileceği görülmüş, maksimum verim ve maksimum güvenlik hedeflerine ulaşılmıştır.

Ayrıca batarya sistemlerinde yüksek önem derecesine sahip olan sıcaklık kontrolü için devreye entegre olacak şekilde soğutma sistemi kurulmuştur. Sıcaklık sensörü, sıcaklık sensörü dönüştürme modülü ve fanlardan oluşan soğutma sistemini test etmek amacıyla harici bir sıcaklık kaynağı kullanılarak yapay şekilde sıcaklık değeri artırılmış ve soğutma sisteminin çalışabilirliği kontrol edilmiştir. Batarya ve batarya paketleri için belirlenen güvenli çalışma bölgesi sınırları aşıldığında, sıcaklık kontrol sisteminin çalıştığı ve sistemin termal tehlikelere karşı korunduğu görülmüştür.

Tez çalışması sonucunda gördüğümüz üzere: PLC kontrolcü ile tasarlanan BYS'ler daha çok sayıda batarya paketini kontrol edebilme, daha geniş akım aralıklarında çalışabilme imkanı sağlama, kolay işletme, kolay bakım ve harici veri izleme ekranı gibi özelliklerinden dolayı avantajlı durumdadır, bu avantajlar tercih sebebi olabilir. Ancak PLC kontrolcü ile tasarlanan BYS'ler daha büyük hacimli yapıya sahip olduklarından dolayı, alanı sınırlı olan sistemlerde bu sistemlerin kullanılması dezavantaj doğurabilir, bu sebeple alan sınırlaması olan yerlerde bu husus göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca yapılan testler sonucunda PLC kontrolcü ile tasarlanan BYS'lerdeki dengeleme süresinin, geleneksel BYS'lere göre daha uzun olduğu tespit edilmiştir. Termal koruma yeteneğinin ise geleneksel sistemlerdeki termal koruma yeteneğinden farklı olmadığı görülmüştür.

Avantaj ve dezavantajları belirlenen, PLC kontrolcü ile tasarlanan BYS'ler farklı özellikleri sebebiyle, özellikle yenilenebilir enerji üretim tesislerindeki enerji depolama sistemlerinde ve taşıt teknolojilerinde zamanla daha çok yer alacaktır.

5.2. Öneriler

Bir batarya paketinde hücreler arası kapasite farklılıkları, batarya paketinin maksimum verimde çalışmasını engellemektedir. Hücreler arası kapasite farklılıklarına neden olan gerilim dengesizliği, seri bağlı batarya hücrelerinden, bir ya da daha fazla sayıda hücrenin diğer hücrelerden daha önce maksimum kapasitesini doldurmasına sebep olmaktadır. Yani bazı hücreler tam şarj edilmişken bazı hücreler ise tam şarj edilmemiş olmaktadır. Bu sebepten dolayı batarya paketinin şarj olmadığı durumda, tam şarj edilmemiş olan hücre diğer hücrelerden daha önce bitmektedir. Ayrıca batarya hücrelerinde belirli şarj deşarj döngü sayıları vardır, dengesiz batarya paketlerinde hücrelerin şarj deşarj döngü sayıları daha hızlı ve farklı zamanlarda tükenecektir böylece batarya paketinin ömrü kısılacaktır. Hücreler arası kapasite farklılıklarını yok etmek için gerim dengeleme tekniği kullanılmalıdır. Böylece hücrelerden az dolan hücreler dolana kadar fazla dolan hücrelerin şarj olması engellenir ve batarya hücrelerinin eş kapasitelerde dolması sağlanarak sistem verimi ve ömrü arttırılabilir.

Bir depolama sisteminde en önemli parametrelerden biri de sıcaklıktır. Sıcaklık, sistem verimini etkilemesinin yanında patlama ve yanma gibi problemleri ekzotermik reaksiyonlara sebep olabilecek parametrelerdendir. Bundan dolayı, BYS'lerde kontrol ve

koruma mekanizmasında sıcaklık kontrol sistemi bulundurulmalıdır. Böylece hem verim düşüşlerinin hem de güvenlik problemlerinin önüne geçilebilir.

Pasif dengeleme tekniklerinden olan sabit dirençli pasif dengeleme tekniğinde bataryalardan sürekli akım çekilmesinden dolayı, anahtarlama dirençli pasif dengeleme tekniğine göre çok daha verimsizdir. Devrede kullanılan eleman sayıları açısından incelendiğinde, anahtarlama dirençli pasif dengeleme tekniğinin sabit dirençli tekniğinden farkı ek olarak anahtarlama elemanları ve kontrolüdür. Çok yüksek maliyet farkı söz konusu olmadığından dolayı daha yüksek verim için anahtarlama dirençli pasif dengeleme tekniği tercih edilmelidir.

Pasif hücre dengeleme tekniklerinde fazla enerji ısıya dönüştürülerek harcanır, bu pek istenen bir durum değildir. Ancak pasif hücre dengeleme teknikleri, aktif hücre dengeleme tekniklerine göre daha sade, daha ucuz ve daha kolay bir yöntemdir. Yani pasif dengeleme tekniklerinin aktif dengeleme tekniklerine göre maliyet, tasarım ve uygulama açısından avantajlı olduğu görülmektedir. Bu sebeplerden dolayı dengeleme tekniği seçilirken bütün değerlendirme parametreleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Günümüzde teknolojik gelişmeler ile beraber, sistemlerin çeşitlilik kazanması her zaman avantajlar sağlamaktadır. Bu kapsamda daha verimli sonuçlar elde edebilmek için sadece geleneksel yöntemlere bağlı kalınmamalıdır. Yeni sistemler, bazı dezavantajları olsa bile tercih edilebilir, çünkü bir sistem uygulandığı alanın şartlarına uyup adaptasyon sağladığında bilinen dezavantajları önemsiz olabilir. Örnekleme gerekirse: Kurulum aşamasında hacimsel olarak daha geniş alana ihtiyaç duyulan, PLC kontrolcülü BYS'ler alan sınırı olmayan sistemlerde oldukça faydalı olabilmektedir, burada sadece hacim olarak daha büyük oldukları için bu sistemleri kullanmamak diğer avantajlı özelliklerinden faydalanmanın önüne geçecektir.

6. KAYNAKLAR

- Aldoğan, E., 2012, Elektrikli Araçlar İçin Batarya Yönetim Sistemi Donanımı Tasarımı Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü / Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Andrea, D., (2010). Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs, Artech House, Boston.
- Bağcı, S., 2011, Hibrit Araçlarda Güç Elektroniği Sistemlerinin Genelleştirilmiş Durum Uzay Ortalama(GSSA) Yöntemiyle Modellenmesi Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektrik-Elektronik Mühendisliği.
- Baygüneş, B., 2019, Elektrikli Araçlarda Batarya Yönetim Sistemi Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Daowd, M., Omar, N., Van Den Bossche, P. and Van Mierlo, J., 2011, “Passive and active battery balancing comparison based on MATLAB simulation”, Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), 1-7 (2011).
- Gül, H.S., 2018, Elektrikli Araçlar İçin Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı / Elektrik Programı.
- Haq, I. N., Saputra, R. H., Edison, F., Kurniadi, D., Leksono, E. and Yuliarto, B., 2015, “State of charge (SoC) estimation of LiFePO₄ battery module using support vector regression”, Electric Vehicular Technology and Industrial, Mechanical, Electrical and Chemical Engineering (ICEVT & IMECE), 2015 Joint International Conference, 16-21 (2015).
- Karadeniz, O., 2017, Lityum Tabanlı Enerji Depolama Üniteleri İçin Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı Yüksel Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı.
- Kaypmaz, T.C., 2009, Li-iyon Polimer Pil Karakteristiklerinin Analizi Ve Arıza Tanısı Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı / Elektrik Mühendisliği.
- Keskin, F., 2014, Yakıt Pilli-Bataryalı Hibrid Bir Elektrikli Araçta Enerji Yönetiminin Sağlanması Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı / Elektrik Makinaları ve Güç Elektroniği Programı.

- Liu, K., Li, K., Peng, Q. and Zhang, C., 2019, A brief review on key technologies in the battery management system of electric vehicles. *Frontiers of mechanical engineering*, 14:1, 47-64.
- Long, L., Wang, S., Xiao, M. and Meng, Y. 2016. Polymer electrolytes for lithium polymer batteries [10.1039/C6TA02621D]. *Journal of Materials Chemistry A*, 4:26, 10038-10069.
- 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-Elsevier B.V. All rights reserved.
- Malekshah, M.H., Malekshah, E.H., Salari, M., Rahimi, A., Rahjoo, M., Kasaeipoor, A., 2018, Thermal analysis of a cell of lead-acid battery subjected by non-uniform heat flux during natural convection, *Thermal Science and Engineering Progress Volume 5*, March 2018, Pages 317-326.
- Muratori, M., 2009, Thermal characterization of lithium-ion battery cell. Master's Thesis. Politecnico Dı Milano.
- Özdemir, M.C., 2017, Li-İon Batarya Karakterizasyonu, Modellemesi ve Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı / Elektronik Mühendisliği Programı.
- Özel, M.A., 2019, Elektrikli Araçlarda Kullanılan Batarya Paketinin Termal Modeli Ve Analizi Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü/Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- P. Hong-Sun, K. Chol-Ho, P. Ki-Bum, M. Gun-Woo and L. Joong-Hui, "Design of a Charge Equalization Based on Battery Modularization," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol. 58, pp. 3938-3946, 2009.
- P. Sang-Hyun, K. Tae-Sung, P. Jin-Sik, M. Gun-Woo, and Y. Myung- Joong, "A New Battery Equalizer Based on Buck-boost Topology" *IEEE 7th International Conf. on Power Electronics*, pp. 962-965, 2007.
- Reindl, A., Meier, H., Niemetz, M., 2020, Scalable, Decentralized Battery Management System Based on Self-organizing Nodes, Faculty of Electrical Engineering and Information Technology, Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg, Regensburg, Germany, Springer Nature Switzerland AG 2020 A. Brinkmann et al. (Eds.): ARCS 2020, LNCS 12.

- Richardson, D. B., 2013, Electric vehicles and the electric grid: A review of modeling approaches, Impacts, and renewable energy integration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 247-254.
- Rigan, M., 2020, Elektrikli Araçlarda Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektrik Elektronik Mühendisli Anabilim Dalı.
- Saleh, Y.B., 2021, Battery Management System Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Scrosati, B., Garche, J. ve Tillmetz, W., (2015). *Advances in Battery Technologies for Electric Vehicles*, 80, Elsevier(Woodhead Publishing Series in Energy).
- Soydaş, Ş., 2015, Lityum Tabanlı Batarya Paketleri İçin Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı Yüksek lisans tezi, Karabük Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Texas Instruments, 2017, LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors, SNIS159H –August 1999–Revised December 2017.
- T. H. Phung, J. C. Crebier, A. Chureau, A. Collet And N. T. Van Nguyen, “Optimized Structure for Next-to-Next Balancing of Series- Connected Lithium-ion Cells,” 26th Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), pp. 1374-1381, 2011.
- Toprakci, O., Karahan Topraci, H.A., Ji, L., Zhang, X., 2010, ChemInform Abstract: Fabrication and Electrochemical Characteristics of LiFePO₄ Powders for Lithium-Ion Batteries, *KONA powder and Particle Journal*, 28, 50-23, 2010.
- Turğut, M., 2018, Elektrikli Araçlar İçin Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı ve Geliştirilmesi Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü / Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Web 1, <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work> .
[Ziyaret Tarihi: 20.12.2021].
- Web 2, <https://elektrikliaracteknolojisi.com/lityum-sulfur-piller-sarj-basina-iki-bin-km-menzil-saglayabilir> .
[Ziyaret Tarihi: 21.12.2021].
- Web 3, https://tap.org.tr/wp-content/uploads/2020/05/nicd_pil.jpg , Taşınabilir Pil Üreticileri ve İthalatçıları Derneği.
[Ziyaret Tarihi: 21.12.2021].

- Web 4, <https://www.clp.com.hk/en/environment/funds-services/electric-vehicle-charging/about-electric-vehicles.html> .
[Ziyaret Tarihi: 03.01.2022].
- Web 5, Power-Xtra 18650 1500mAh Datasheet, 2020, 3.7V Li-ion 18650 1500mAh Rechargeable Battery, <https://birikimpilleri.net/endustriyel-piller/lithium-ion/18650> .
[Ziyaret tarihi:16.12.2021].
- Web 6, Fatek PLC Sheet, https://fonksiyonelas.com.tr/pdf/Fatek_Katalog.pdf
[Ziyaret tarihi: 08.06.2022].
- Web 7, Fatek Analog Module Sheet, https://fonksiyonelas.com.tr/pdf/Fatek_Katalog.pdf
[Ziyaret tarihi: 08.06.2022].
- Web 8, DOP-107BV Instruction/DataSheet, <http://www.delta-emea.com/Products/CategoryListT1.aspx?CID=06&hl=en-GB> .
[Ziyaret tarihi: 15.12.2021].
- Web9, Weidmüller İnce Röle, https://www.weidmuller.com.tr/tr/ueruenler/elektronik/roele_moduelleri_kat%C4%B1_hal_roeleler/solid_state_roeleler/index.jsp
[Ziyaret tarihi: 09.06.2022].
- Web 10, <https://teknolojiprojeleri.com/elektronik/lm35-sicaklik-isi-sensoru> .
[Ziyaret tarihi: 10.01.2022].
- Web 11, <https://www.motorobit.com/urun/lm35-sicaklik-sensoru-modulu> .
[Ziyaret tarihi: 10.01.2022].
- Yong, J. Y., Ramachandaramurthy, V. K., Tan, K. M. and 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: Power-Xtra 3.7V Li-ion Batarya Datasheet(Veri Dokümanı)****POWER-XTRA**

Model: Power-Xtra 3.7V Li-ion 18650 1500 Mah Rechargeable Battery
Stock Code: 900.600.503.306

TECHNICAL INFORMATIONS

Item	Specifications	Conditions
Nominal Voltage	3.7±0.05V	0.2C Discharge
Charging	Method	CC-CV
	Voltage	4.20±0.05V
Typ. Capacity	1500 mAh	0.2C discharge
Standard Charge Current	300 mAh (0.2C)	Constant current 0.2C / end voltage 4.2V
Standard Discharging Current	300 mAh (0.2C)	Constant current 0.2C / end voltage 2.75V
Max. Discharge Current	1500 mAh (1.0C)	1.0C
Max. Discharge Current	2250 mAh (1.5C)	3.0C
Temperature	Charge	0 to +45°C
	Discharge	-20 to +60°C
	Storage	Less than 1 year: -20~25°C less than 3 months: -20~40°C
Weight	45 gr	approximately
Cycles Test	Higher than 70% of the Initial Capacities of the Cells Carry out 300cycle Charging/Discharging in the below condition. ♦Charge: Standard Charge ♦Discharge:0.5C to 2.75 V ♦Rest Time between charge /discharge:30min. ♦Temperature:20±5°C	

IMAGE

REV001
 Revised Date:22.09.2020

EK-2: PLC Kontrolcü Data Sheet(Teknik Veri Dokümanı)



General Specifications

Environmental specifications

Item		Specification	Note
Operating ambient temperature	Enclosure space	Minimum	5°C
		Maximum	40°C
	Open space	Minimum	5°C
		Maximum	55°C
Storage temperature		-25~70°C	Permanent installation
Relative humidity(non-condensing, RH-2)		5~95%	
Pollution resistance		Degree II	
Corrosion resistance		Base on IEC-68 standard	
Altitude		≤2000m	
Vibration resistance	Fixed by DIN RAIL	0.5G, 2 hours for each direction of 3 axes	
	Fasten by screw	2G, 2 hours for each direction of 3 axes	
Shock resistance		10G, three times for each direction of 3 axes	
Noise resistance		1500 Vp-p, pulse width 1μS	
Withstand voltage		1500VAC, 1 minute	

AC power supply specifications

Specification		Item	10/14 points main units	20/24 points main units	32/40 points main units	60 points main units
Input range	Voltage	100~240VAC, -15%/+10%				
	Frequency	50/60Hz±5%				
Max. power consumption (built-in power supply)			21W(SPW14-AC)		36W(SPW24-AC)	
Inrush current			20A@264VAC			
Allowable power momentary interruption time			< 20mS			
Fuse rating			2A, 250V			

DC power supply specifications

Specification		Item	10/14 points main units	20/24 points main units	32/40 points main units	60 points main units
Input voltage			12 or 24 VDC, -15%/+20%			
Max. power consumption (full built-in power supply)			21W(SPW14-D12/D24)		36W(SPW24-D12/D24)	
Inrush current			20A@12 or 24VDC			
Allowable power momentary interruption time			< 2mS			
Fuse rating			3A(D12)/1.5A(D24),125V		5A(D12)/2.5A(D24),125V	

Main unit specifications

* : Default, changable by user

Item		Specification	Note
Execution speed		0.33μS/Sequential instruction	
Program capacity		20K Words	
Program memory		FLASH ROM or SRAM + Lithium battery for Back-up	
Sequential Instruction		36 instructions	
Function Instruction		326 instructions (126 kinds)	Include derivative instructions
Flow chart command (SFC)		4 instructions	
Communication Interface	Port 0 (RS232 or USB)	Communication speed 4.8k ~ 115.2Kbps (9.6Kbps)*	
	Port 1 ~ Port 4 (RS232, RS485, Ethernet, CANopen or GSM)	Communication speed 4.8k ~ 921.6Kbps (9.6Kbps)*	Port1 ~ 4 provides FATEK or Modbus RTU/ASC II or user defined communication protocol
	Maximum link stations	254	
Digital (Bit status)	X Input contact (DI)	X0~X255 (256)	Corresponding to external digital input
	Y Output relay (DO)	Y0~Y255 (256)	Corresponding to external digital output
	TR Temporary relay	TR0~TR39 (40)	

EK-2.1: PLC Kontrolcü Data Sheet(Teknik Veri Dokümanı)

General Specifications

(Continue)

Item		Specification				Note		
Digital (bit status)	M	Internal relay	Non-retentive	M0 ~ M799 (800)*			Can be configured as retentive type	
			Retentive	M1400 ~ M1911 (512)				
		Special relay		M800 ~ M1399 (600)*			Can be configured as non-retentive type	
	S	Step relay	Non-retentive	S0 ~ S499 (500)*			S20 ~ S499 can be configured as retentive type	
			Retentive	S500 ~ S999 (500)*			Can be configured as non-retentive type	
	T	Timer "Time-Up" status contact		T0 ~ T255 (256)				
C	Counter "Count-Up" status contact		C0 ~ C255 (256)					
Register (Word data)	TMR	Timer current value register	0.01S Time base	T0 ~ T49 (50)*			T0 ~ T255 numbers for each time base can be adjusted.	
			0.1S Time base	T50 ~ T199 (150)*				
			1S Time base	T200 ~ T255 (56)*				
	CTR	Counter current value register	16-bit	Retentive	C0 ~ C139 (140)*			Can be configured as non-retentive type
				Non-retentive	C140 ~ C199 (60)*			Can be configured as retentive type
			32-bit	Retentive	C200 ~ C239 (40)*			Can be configured as non-retentive type
				Non-retentive	C240 ~ C255 (16)*			Can be configured as retentive type
	HR DR	Data register	Retentive	R0 ~ R2999 (3000)*			Can be configured as non-retentive type	
			Non-retentive	D0 ~ D3999 (4000)				
	HR RDR	Data register	Retentive	R5000 ~ R8071 (3072)*			When not configured as ROR, it can serve normal register (for read/write)	
			Read only register	R5000 ~ R8071 can be set as ROR ~ default setting is (0)*			ROR is stored in special ROR area and not occupy program space	
			File register	F0 ~ F8191 (8192)			Save/retrieved via dedicated instruction	
	IR	Input register		R3840 ~ R3903 (64)			Corresponding to external numeric input	
	OR	Output register		R3904 ~ R3967 (64)			Corresponding to external numeric output	
	SR	Special system register		R3968 ~ R4167 (197), D4000 ~ D4095 (96)				
		0.1mS high-speed timer register		R4152 ~ R4154 (3)				
		High-speed counter register	Hardware (4 sets)	DR4096 ~ DR4110 (4x4)				
Software (4 sets)			DR4112 ~ DR4126 (4x4)					
Calendar Register		R4128 (sec)	R4129 (min)	R4130 (hour)	R4131 (day)	Optional for MA model		
XR	Index register		V-Z (2), P0 ~ P9 (10)					
	Interrupt control		32 Interrupts (16 points input positive/negative edge)					
External interrupt control		8 Interrupts (1, 2, 3, 4, 5, 10, 50, 100mS)						
Internal interrupt control		1 (16-bit), 4 (32-bit, share with HHSC)						
High-speed counter (HSC)	Hardware high-speed counter (HHSC)/32-bit		No. of channel	Up to 4			<ul style="list-style-type: none"> Total number of HHSC and SHSC is 8 HHSC can be converted into 32-bit/0.1mS time base High-Speed Timer (HST) Half of maximum frequency while A/B Input 	
			Counting mode	8 modes (U/D, U/Dx2, P/R, P/Rx2, A/B, A/Bx2, A/Bx3, A/Bx4)				
			Counting frequency	Maximum is 200KHz (Single-end Input) or 920KHz (differential input)				
	Software high-speed counter (SHSC)/32-bit		No. of channel	Up to 4				
			Counting mode	3 modes (U/D, P/R, A/B)				
			Counting frequency	Maximum sum up to 5KHz				
NC position pulse out (HSPSO)	Number of axis		Up to 4					
	Output frequency		Maximum is 200KHz (Single-end output) or 920KHz (differential output)			Half of the maximum while A/B output		
	Pulse output mode		3 modes (U/D, P/R, A/B)					
	Programming method		Dedicated position language					
	Interpolation		Maximum 4 axes linear interpolation					
HSPWM output	Number of points		Up to 4					
	Output frequency		72Hz ~ 18.432KHz (with 0.1% resolution) 720Hz ~ 184.32KHz (with 1% resolution)					
Captured input	Points		Maximum 36 points (All inputs in main unit are suitable this feature)					
	Minimum capturable Pulse width		>10 µS (for ultra high speed / high speed input)					
			>47 µS (for Medium speed input)					
Digital filter	X0 ~ X15		Adjustable frequency 14KHz ~ 1.8MHz			Chosen by frequency at high frequency		
			Adjustable time constant 0 ~ 1.5mS/0~15mS (unit: 0.1mS/1mS)			Chosen by time constant at low frequency		
	X16 ~ X35		Time constant 1 ~ 15mS adjustable (unit: 1mS)					

EK-2.2: PLC Kontrolcü Data Sheet(Teknik Veri Dokümanı)

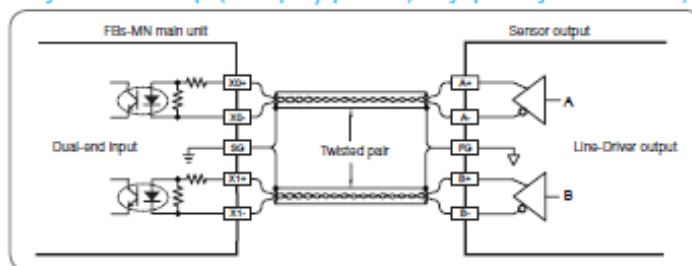


General Specifications

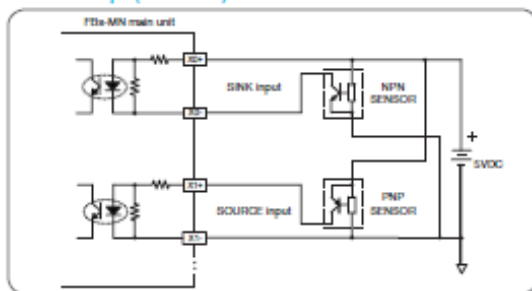
Digital Input (DI) Specifications

Specification	Item	5VDC differential input		24VDC single-end input			Notes
		Ultra high speed	High speed	Medium speed(HSC)	Medium low speed (capture input)	Low speed	
Maximum input frequency*/ accumulated time		920KHz	200KHz	20KHz(HHSC) Total 5KHz(SHSC)	0.47mS	4.7mS	* Half of maximum frequency while A/B phase input
Input signal voltage		5VDC ± 10%					
Threshold current	ON	>11mA	>8mA		>4mA	>2.3mA	
	OFF	<2mA			<1.5mA	<0.9mA	
Maximum input current		20mA	10.5mA		7.6mA	4.5mA	
Input indication		Displayed by LED-light when "ON" , dark when "OFF"					
Isolation method		Photocouple isolation, 500VAC, 1 minute					
SINK/SOURCE wiring		Independent wiring	Via variation of internal common terminal S/S and external common wiring				
Noise filtering methods		DHF (0~15mS) +AHF (0.47µS)		DHF (0~15mS) +AHF (4.7µS)	DHF (0~15mS) +AHF (0.47mS)	AHF (4.7mS)	DHF: Digital Hardware Filter AHF: Analog Hardware Filter

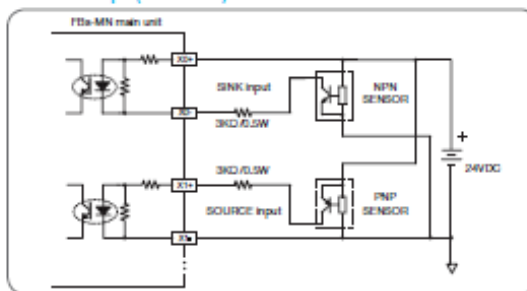
Wiring of 5VDC differential input (with frequency up to 920KHz, for high speed or high noise environments)



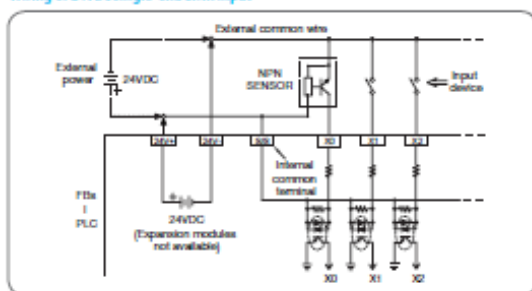
Wiring of 5VDC differential input to 5VDC single-end SINK /SOURCE input (Max. 200KHz)



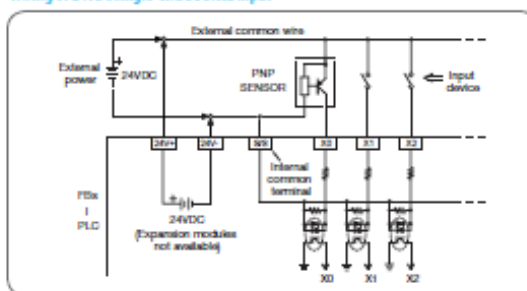
Wiring of 5VDC differential input to 24VDC single-end SINK /SOURCE input (Max. 200KHz)



Wiring of 24VDC single-end SINK input



Wiring of 24VDC single-end SOURCE input



EK-2.3: PLC Kontrolcü Data Sheet(Teknik Veri Dokümanı)

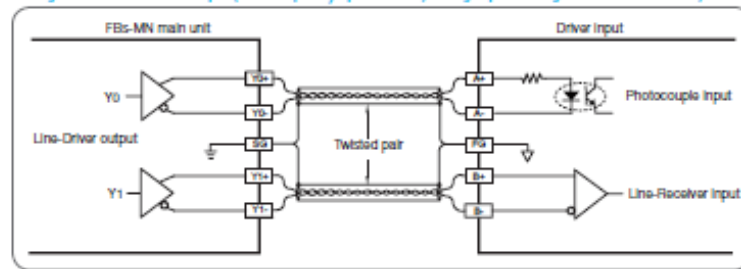
General Specifications

Digital Output (DO) Specifications

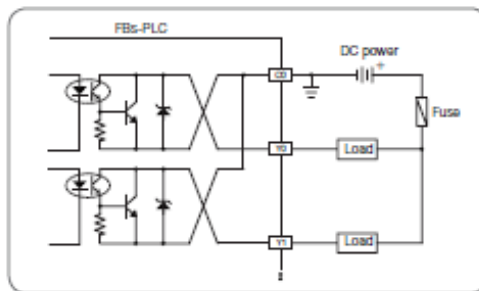
Specification	Item	Single-end transistor output				Single-end relay output
		Differential output Ultra high speed	High speed	Medium speed	Low speed	
Maximum output frequency*		920KHz	200KHz	20KHz	—	—
Working voltage		5VDC±10%	5~30 VDC			< 250VAC/30VDC
Maximum load current	Resistive	50mA	0.5A	0.5A	0.5A/0.1A (24V/7J)	2A/single, 4A/common
	Inductive					80VA(AC)/24VA(DC)
Maximum voltage drop/ conducting resistance		—	0.6V	2.2V	2.2V	0.06V (Initial)
Minimum load		—	—			2mA/DC power
Leakage current		—	< 0.1mA/30VDC			—
Maximum output delay time	ON→OFF	200ns	2µs	15µs		10ms
	OFF→ON			30µs		
Output status indication		Displayed by LED-Light when "ON", dark when "OFF"				
Over current protection		N/A				
Isolation type		Photocouple isolation, 500VAC, 1 minute				Electromagnetic isolation 1500VAC, 1 minute
SINK/SOURCE output type		Independent dual terminals for arbitrary connection	Choose SINK/SOURCE by models and non-exchangeable			Can be arbitrarily set to SINK/SOURCE output

*: Half of the maximum frequency while A/B phase output

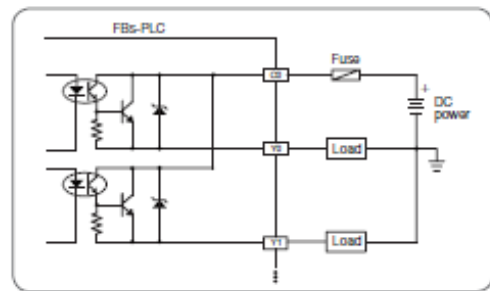
Wiring of 5VDC differential output (with frequency up to 920KHz, for high speed or high noise environments)



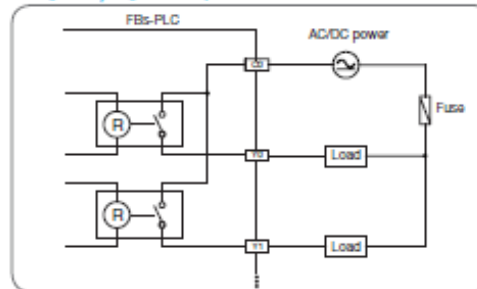
Wiring of transistor single-end SINK output



Wiring of transistor single-end SOURCE output




Wiring of relay single-end output



EK-2.4: PLC Kontrolcü Data Sheet(Teknik Veri Dokümanı)


FATEK
The Brand You Can Rely on!

Main Unit Specifications




Basic Main Units (MA)

Specification	Model	FBs-10MAR	FBs-10MAT/J	FBs-14MAR	FBs-14MAT/J	FBs-20MAR	FBs-20MAT/J	FBs-24MAR	FBs-24MAT/J	
Digital Input	24VDC	Medium speed (20KHz)	4 points				6 points		8 points	
		Medium speed (Total 5KHz)	2 points		4 points		6 points			
Digital output	Relay	Medium speed (20KHz)	4 points	—	6 points	—	8 points	—	10 points	—
		Transistor	—	4 points	—	6 points	—	8 points	—	8 points
		Low speed	—	—	—	—	—	—	—	2 points
Communication Port	Built-In	1 port (Port0, USB or RS232)								
	Expandable	2 ports (Port1~2, RS485 or RS232 or Ethernet)								
Calendar		optional								
Built-In power supply		SPW14-AC/D12/D24				SPW24-AC/D12/D24				
Wiring mechanism		7.62mm fixed terminal block								
Dimension		Figure 2				Figure 1				



Basic Main Units (MA/MB)

Specification	Model	FBs-32MAR FBs-32M8R	FBs-32MAT/J FBs-32MBT/J	FBs-40MAR FBs-40M8R	FBs-40MAT/J FBs-40MBT/J	FBs-60MAR FBs-60M8R	FBs-60MAT/J FBs-60MBT/J	
Digital Input	24VDC	Medium speed (20KHz)	8 points					
		Medium speed (Total 5KHz)	8 points					
		Medium low speed	4 points		8 points		20 points	
Digital output	Relay	Medium speed (20KHz)	12 points	—	16 points	—	24 points	—
		Transistor	—	8 points	—	8 points	—	8 points
		Low speed	—	4 points	—	8 points	—	16 points
Communication Port	Built-In	1 port (Port0, USB or RS232)						
	Expandable	2 ports (Port1~2, RS485 or RS232 or Ethernet)						
Calendar		optional						
Built-In power supply		SPW24-AC/D12/D24						
Wiring mechanism		7.62mm fixed terminal block(MA), 7.62mm detachable terminal block (MB)						
Dimension		Figure 1						



Advanced Main Units (MC)

Specification	Model	FBs-10MCR	FBs-10MCT/J	FBs-14MCR	FBs-14MCT/J	FBs-20MCR	FBs-20MCT/J	FBs-24MCR	FBs-24MCT/J	
Digital Input	24VDC	High speed (200KHz)	2 points				4 points			
		Medium speed (20KHz)	2 points				2 points		4 points	
		Medium speed (Total 5KHz)	2 points		4 points		6 points			
Digital output	Relay	Medium speed (20KHz)	4 points	—	6 points	—	8 points	—	10 points	—
		Transistor	—	2 points	—	2 points	—	4 points	—	4 points
		Medium speed (20KHz)	—	2 points	—	4 points	—	4 points	—	4 points
		Low speed	—	—	—	—	—	—	—	2 points
Communication Port	Built-In	1 port (Port0, USB or RS232)								
	Expandable	4 ports (Port1~4, RS485 or RS232 or Ethernet or GSM or ZigBee)								
Calendar		Built-in								
Built-In power supply		SPW14-AC/D12/D24				SPW24-AC/D12/D24				
Wiring mechanism		7.62mm fixed terminal block				7.62mm detachable terminal block				
Dimension		Figure 2				Figure 1				

EK-2.5: PLC Kontrolcü Data Sheet(Teknik Veri Dokümanı)



Figure 1

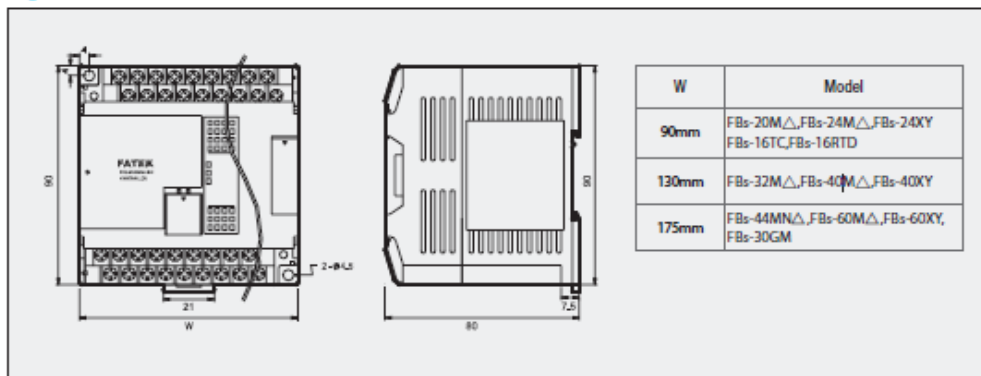


Figure 2

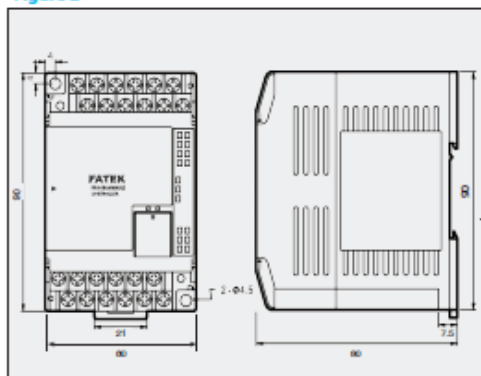


Figure 3

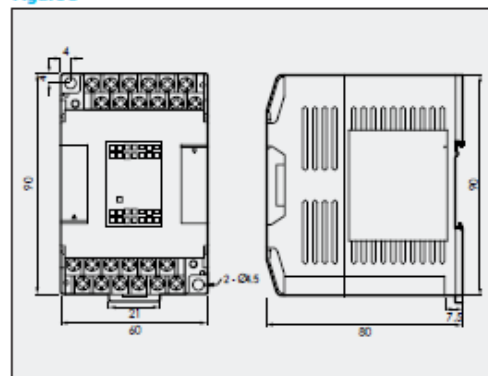


Figure 4

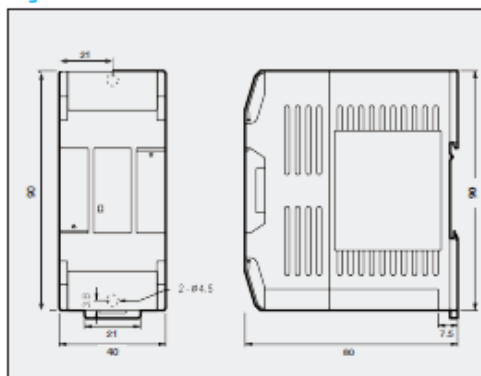
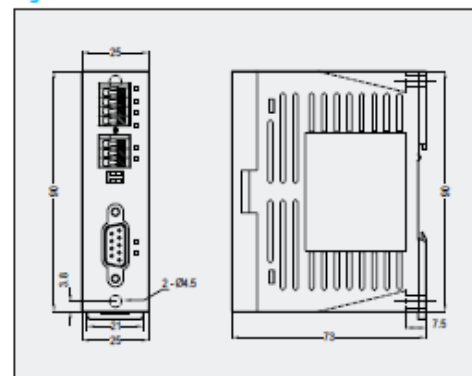


Figure 5



EK-3: PLC Analog Modül Data Sheet(Teknik Veri Dokümanı)

Right Side Expansion Module Specifications

16/7 Segment LED Display Modules

Specification	Model	FBS-7SG1	FBS-7SG2
Display mode	Decoding display	4 bits to represent a character. It can display 16 kinds of pre-decoded character including 0~9, -, E, H, c, t and blank	
	Non-decoding display	Each segment controlled by 1 individual bit, one 7 segment digits needs 8 bits to control (including decimal), displayable any set of segments (EX: character and number display) or each LED display	
Display number of character (points)		1 channel, 7 segment 8 words / 16 segment 4 words or 64 points individual LED	2 channels, 7 segment 16 words/ 16 segment 8 words or 128 points individual LED
Refresh time for display		10mS max.	
LED driving specification	Driving current	40mA / segment	
	Display method	1~8 duty multiplexing display	
	Driving voltage	5VDC (can be 10% up)	
	High voltage	7.5V, 10V, 12.5V selectable (can be 10% up)	
	Fine tune of voltage drop	0.6V, 1.2V, 1.8V selectable	
Over voltage driving indication		Each channel has individual Over Voltage (O.V.) driving LED indication (should be under Test Mode)	
Isolation method		Transformer (power) and photocouple (signal) isolation, 500VAC, 1 minute	
Power consumption		24VDC-15%/+20%, static consumption is 2W max., dynamic current is increased according to display	
Wiring mechanism		16 pins flat cable, 2.54mm header connector	
Dimension		Figure 4	

AIO Module

Specification	Model	FBS-6AD	FBS-4A2D	FBS-2DA	FBS-4DA
Input point		6 points	4 points	—	—
Output point		—	2 points	2 points	4 points
Input/Output value		-8192~8191 or 0~16383 (14-bit)			
Input/output signal range	Bipolar	Voltage: -10~10V or -5~5V Current: -20~20mA or -10~10mA			
	Unipolar	Voltage: 0~10V or 0~5V Current: 0~20mA or 0~10mA			
Maximum resolution		Voltage: 0.3mV (5V/16384) Current: 0.61µA (10mA/16384)			
Accuracy		± 1%			
Conversion time		Conversion once for each scan			
Maximum input signal		Input voltage: ±15V Input current: ±30mA		—	
Allowable load range		Output voltage: 500Ω~1MΩ Output current: 0~500Ω			
Input impedance		Input voltage: 63.2KΩ Input current: 250Ω		—	
Isolation method		Transformer(power) and photocouple(signal) isolation, 500VAC, 1 minute, no isolation between each channel			
Power consumption		24VDC -15%/+20%, 3.2W max.			
Wiring mechanism		7.62 mm fixed terminal block			
Dimension		Figure 4			

Temperature Measurement Modules

Specification	Model	FBS-2TC	FBS-6TC	FBS-16TC	FBS-6RTD	FBS-16RTD	FBS-6NTC
Number of input points		2 points	6 points	16 points	6 points	16 points	6 points
Sensor type and temperature measurement range		Thermocouple Sensor: J (-200~1200°C) E (-190~1000°C) K (-190~1300°C) T (-190~380°C) R (0~1800°C) B (350~1800°C) S (0~1700°C) N (-200~1000°C)			3-wire RTD sensor (JIS or DIN) Pt100(-200~850°C) Pt1000(-200~600°C)		NTC sensor 10 KΩ at 25°C, B optional -20~100°C
Temperature compensation		Built-in cold junction compensation			—	—	—
Resolution		0.1°C					
Temperature refresh time		1 or 2 seconds	2 or 4 seconds	3 or 6 seconds	1 or 2 seconds	2 or 4 seconds	2 or 4 seconds
Overall Precision		± (1%+1°C)			± 1%		±1% of full scale at 25°C
Isolation method		Transformer(power) and photocouple(signal) isolation, 500VAC, 1 minute, isolation between each channel			Transformer(power) and photocouple(signal) isolation, 500VAC, 1 minute, no isolation between each channel		
Power consumption		24VDC -15%/+20%, 2W max.					
Wiring mechanism		3.81 mm european terminal block			7.62 mm fixed terminal block		
Dimension		Figure 4		Figure 1	Figure 4	Figure 1	Figure 4

EK-3.1: Analog Modül Data Sheet(Teknik Veri Dokümanı)

FBs-6AD

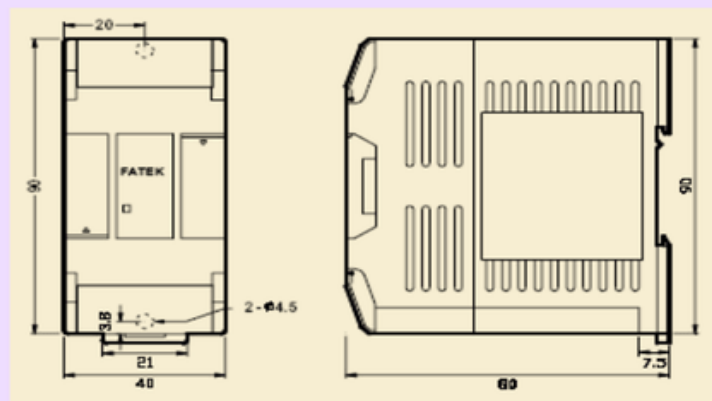
6 Channel A/D Input Module



Introduction

FBs-6AD is one of the analog input modules of FATEK FBs series PLC. It provides 6 channels A/D input with 12 or 14 bit effective resolution.. Base on the different jumper settings it can measure the varieties of current or voltage signal. The reading value is represented by a 14 bit value no matter the effective resolution is set to 12 or 14 bit. In order to filter out the field noise imposed on the signal, it also provides the average of sample input function.

Dimensions



Specifications

Total Channels - 6 CH

Resolution- 14 or 12 bit

Signal Resolution - 0.3mV(Voltage), 0.61uA(Current)

I/O Points Occupied - 6 RI(Input Register)

Conversion Time- Updated each scan

Accuracy- $\pm 1\%$

Max. Absolute Input Rating-

$\pm 15V$ (Voltage), 30mA(Current)

Software Filter- Moving average

Average Samples- 1~16 configurable

Input Impedance- 63.2K Ω (Voltage), 250 Ω (Current)

Measurement Range-

-10~+10V, -5~+5V, 0~10V, 0~5V

-20~+20mA, -10~+10mA, 0~20mA, 0~10mA

Isolation- Transformer(Power) and photo-coupler(Signal)

Indicator(s) - 5V PWR LED

Supply Power- 24V-15%/+20%, 2VA

Internal Power Consumption- 5V, 100mA

Operating Temperature- 0 ~ 60 °C

Storage Temperature- -20 ~ 80 °C

Dimensions- 40(W)x90(H)x80(D) mm

EK-4: HMI Görüntüleme Sistemi Instruction Sheet(Bilgi Dokümanı)



DOP-107BV

High color • Wide screen • User-friendly
Delta Electronics, Inc.
No.18, Xinglong Rd., Taoyuan City
33068, Taiwan

Instruction Sheet

(1) General precautions

Thank you for purchasing this product. This instruction sheet provides information about the DOP-100 series HMI. Before using this product, please read through this instruction sheet carefully to ensure the correct use of the product. Please keep this sheet handy for quick reference whenever needed. Before finishing reading this sheet, please follow the instructions below:

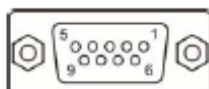
- Install the product in an indoor location, which is free of vapor, corrosive and inflammable gas and liquids.
- Please refer to the wiring diagram when connecting the wires.
- Ensure your HMI is correctly grounded. The grounding method must comply with the national electrical standard (please refer to NFPA 70: National Electrical Code, 2005 Ed.).
- Do not disassemble the HMI or change the wiring when power is on.
- Do not touch the power supply when power is on, or it may cause electric shock.
- When the HMI displays a low power notification and requires a battery change, please contact your local distributor or Delta Customer Service Center for the replacement. Do not change the batteries by yourself.
- This product can be used with other industrial automation equipment. Please read through this sheet carefully and install the product according to the instructions to avoid danger.
- Cleaning method: please use a dry cloth to clean the product.
- This product must be used at an altitude below 2,000 m.
- If the equipment is used in a manner not specified by the manufacturer, the protection provided by the equipment may be impaired.
- For repair and maintenance, please contact Delta Electronics, Inc. Address: No.18, Xinglong Rd., Taoyuan City, Taiwan. TEL: +886-3-3626301.

If you have any inquiry during operation, please contact our local distributors or Delta sales representatives. The content of this instruction sheet may be revised without prior notice. Please consult our distributors or download the latest version at Delta's website (<http://www.delta.com.tw/ia>).

(2) Communication port pin assignment

DOP-107BV COM1

COM Port	Pin	MODE1		MODE2		MODE3	
		COM1	COM2	COM1	COM2	COM1	COM2
		RS-232	RS-485	RS-485	RS-485	RS-232	RS-422
	1	-	-	D+	-	-	TXD+
	2	RXD	-	-	-	RXD	-
	3	TXD	-	-	-	TXD	-
	4	-	D+	-	D+	-	RXD+
	5	GND		GND		GND	
	6	-	-	D-	-	-	TXD-
	7	RTS	-	-	-	RTS	-
	8	CTS	-	-	-	CTS	-
	9	-	D-	-	D-	-	RXD-

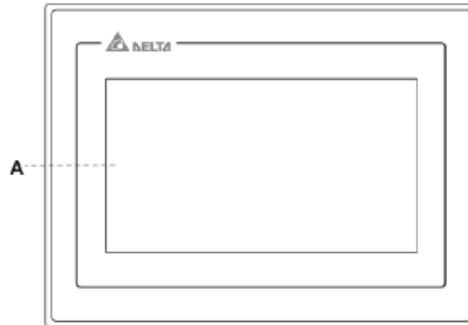


Note: mark "-" means connection is not required.

EK-4.1: HMI Görüntüleme Sistemi Instruction Sheet(Bilgi Dokümanı)

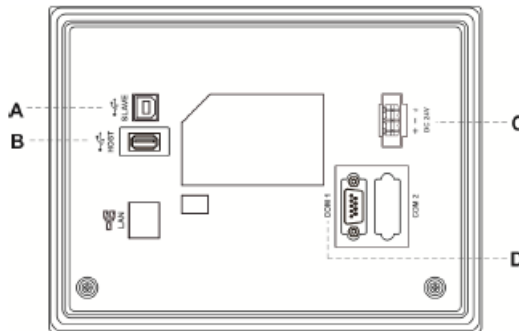
(3) Description of each part

DOP-107BV (front view)



A Operation / display area

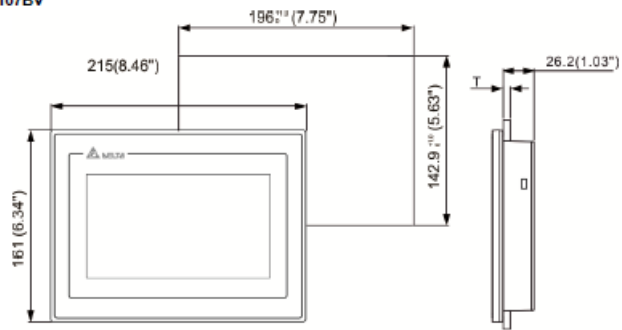
DOP-107BV (rear view)



A	USB Slave	B	USB Host
C	Power input terminal (24 AWG wire min.)	D	COM1

(4) Mounting dimensions

DOP-107BV



Note:
T=1.6 mm~6 mm(0.06"~0.24")

Unit: mm (inch)

Operation temperature: 0°C to 50°C (32°F to 122°F)
Storage temperature: -20°C to 60°C (-4°F to 140°F)

EK-5: LM35 Sıcaklık Sensörü Datasheet(Veri Dokümanı)



LM35

SNIS159H—AUGUST 1999—REVISED DECEMBER 2017

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

1 Features

- Calibrated Directly in Celsius (Centigrade)
- Linear + 10-mV/°C Scale Factor
- 0.5°C Ensured Accuracy (at 25°C)
- Rated for Full -55°C to 150°C Range
- Suitable for Remote Applications
- Low-Cost Due to Wafer-Level Trimming
- Operates From 4 V to 30 V
- Less Than 60- μ A Current Drain
- Low Self-Heating, 0.08°C in Still Air
- Non-Linearity Only $\pm 1/4$ °C Typical
- Low-Impedance Output, 0.1 Ω for 1-mA Load

2 Applications

- Power Supplies
- Battery Management
- HVAC
- Appliances

3 Description

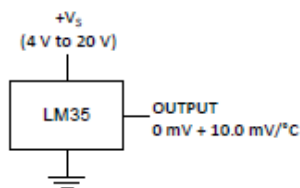
The LM35 series are precision integrated-circuit temperature devices with an output voltage linearly-proportional to the Centigrade temperature. The LM35 device has an advantage over linear temperature sensors calibrated in Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from the output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 device does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4$ °C at room temperature and $\pm 1/4$ °C over a full -55°C to 150°C temperature range. Lower cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The low-output impedance, linear output, and precise inherent calibration of the LM35 device makes interfacing to readout or control circuitry especially easy. The device is used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As the LM35 device draws only 60 μ A from the supply, it has very low self-heating of less than 0.1°C in still air. The LM35 device is rated to operate over a -55°C to 150°C temperature range, while the LM35C device is rated for a -40°C to 110°C range (-10° with improved accuracy). The LM35-series devices are available packaged in hermetic TO transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D devices are available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D device is available in an 8-lead surface-mount small-outline package and a plastic TO-220 package.

Device Information⁽¹⁾

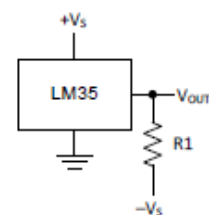
PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM35	TO-CAN (3)	4.699 mm x 4.699 mm
	TO-92 (3)	4.30 mm x 4.30 mm
	SOIC (8)	4.90 mm x 3.91 mm
	TO-220 (3)	14.988 mm x 10.16 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

Basic Centigrade Temperature Sensor (2°C to 150°C)



Full-Range Centigrade Temperature Sensor



Choose $R_1 = -V_S / 50 \mu\text{A}$
 $V_{\text{OUT}} = 1500 \text{ mV at } 150^\circ\text{C}$
 $V_{\text{OUT}} = 250 \text{ mV at } 25^\circ\text{C}$
 $V_{\text{OUT}} = -550 \text{ mV at } -55^\circ\text{C}$



An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

EK-6: DC Güç Kaynağı Instruction Sheet(Bilgi Dokümanı)

CliQ DIN Rail Power Supply 24V Output



HIGHLIGHTS & FEATURES

- Universal AC input voltage range
- Power will not de-rate for the entire input voltage range
- Power Boost of 150% for 3 seconds (480W: 200% for 2 seconds)
- Full corrosion resistant aluminium casing
- SEMI F47 Certified for selected models
- Conforms to harmonic current IEC/EN 61000-3-2, Class A
- Conformal coating on PCBAs to protect against common dust and chemical pollutants (except DRP-24V48W1AZ and DRP024V060W1AZ)
- Hazardous Locations approval to ATEX and Class I, Div 2 (except DRP-24V48W1AZ and DRP024V060W1AZ)

GENERAL SPECIFICATIONS

OUTPUT	DRP-24V48W1AZ	DRP024V060W1AZ	DRP024V060W1AA	DRP024V120W1AA	DRP024V240W1AA	DRP024V480W1AA
Output Voltage	24V	24V	24V	24V	24V	24V
Output Voltage Range	22-28V	22-28V	22-28V	22-28V	22-28V	22-28V
Output Current	0-2.0A	0-2.5A	0-2.5A	0-5.0A	0-10.0A	0-20.0A
Output Power	48W	60W	60W	120W	240W	480W
Line Regulation	< 0.5% typ. (@ 85-264Vac input, 100% load), DRP-24V48W1AZ: < 1% typ.					
Load Regulation	< 1.0% typ. (@ 85-264Vac input, 0-100% load)					
PARD (20MHz)	< 480mVpp					
Hold-up Time	> 10ms @ 115Vac, > 60ms @ 230Vac	> 20ms @ 115Vac, > 125ms @ 230Vac		> 35ms @ 115Vac, > 70ms @ 230Vac	> 20ms @ 115Vac & 230Vac	
INPUT						
Phase Input	Single Phase					
Input Voltage Range	85-264Vac (DC input range 120-375Vdc) ¹⁾					
Input Frequency	47-63Hz					
Input Current	< 1.4A @ 115Vac, < 0.7A @ 230Vac	< 1.1A @ 115Vac, < 0.7A @ 230Vac		< 1.4A @ 115Vac, < 0.8A @ 230Vac	< 2.9A @ 115Vac, < 1.5A @ 230Vac	< 5.7A @ 115Vac, < 2.8A @ 230Vac
Efficiency ²⁾ at 100% Load	> 87.0% @ 115Vac & 230Vac		> 86.0% @ 115Vac, > 87.0% @ 230Vac		> 89.0% @ 115Vac, > 91.0% @ 230Vac	> 85.0% @ 115Vac, > 88.0% @ 230Vac
Max Inrush Current (Cold Start)	< 28A @ 115Vac, < 56A @ 230Vac	< 40A @ 115Vac, < 80A @ 230Vac		< 80A @ 115Vac, < 150A @ 230Vac	< 40A @ 115Vac, < 100A @ 230Vac	< 50A @ 115Vac, < 150A @ 230Vac
Power Factor	Conform to EN 61000-3-2			> 0.98 @ 115Vac, > 0.87 @ 230Vac	> 0.96 @ 115Vac, > 0.90 @ 230Vac	> 0.97 @ 115Vac, > 0.95 @ 230Vac
Leakage Current	< 1mA @ 240Vac					
MECHANICAL						
Case Cover / Chassis	Plastic			Aluminium		
Dimensions (L x W x D)	100 x 32 x 100.6 mm (3.94" x 1.26" x 3.96")	120.6 x 32 x 113 mm (4.75" x 1.26" x 4.45")	121 x 32 x 120 mm (4.76" x 1.26" x 4.72")	121 x 50 x 118.7 mm (4.76" x 1.97" x 4.67")	121 x 85 x 118.5 mm (4.76" x 3.35" x 4.67")	121 x 100 x 118.5 mm (4.76" x 6.30" x 4.67")
Unit Weight	0.22 kg (0.49 lb)	0.33 kg (0.73 lb)	0.37 kg (0.82 lb)	0.54 kg (1.19 lb)	1.04 kg (2.29 lb)	1.80 kg (3.97 lb)
Cooling System	Convection					
Input Terminal	5 Pins (Rated 300V/15A)			3 Pins (Rated 300V/20A)		
Output Terminal	5 Pins (Rated 300V/15A)			2 Pins (Rated 300V/20A)		4 Pins (Rated 300V/20A)
Input / Output Wire	AWG 22-14	AWG 22-14	AWG 22-14	AWG 22-14	AWG 22-14	I/P: AWG 16-14, O/P: AWG 12-10
MTBF ³⁾	> 500,000 hrs					
ENVIRONMENT						
Operating Temperature	-20°C to +70°C			-20°C to +80°C		
Storage Temperature	-25°C to +85°C					
Power De-rating	< -10°C to -20°C (1% / °C), < 0°C to -10°C (2% / °C), > 50°C (2.5% / °C)	< -20°C to -10°C: 80% Load, < 0°C (2% / °C), > 50°C (2.5% / °C)	< 0°C to -20°C (1% / °C), > 50°C (2.5% / °C)	> 50°C (2.5% / °C)	> 50°C (2.5% / °C), > 70°C (4% / °C)	> 50°C (2.5% / °C)
Operating Humidity	5 to 95% RH (Non-Condensing)					
Operating Altitude	0 to 2,000 m (0 to 6,560 ft)					

Notes

- 1) All models are certified for DC input except DRP-24V48W1AZ which still fulfills the test conditions of this range. DC input safety approval can be obtained upon request.
- 2) At 25°C ambient temperature by vertical mounting orientation.
- 3) MTBF as per Telcordia SR-332 (Confidence level: 90%, I/P: 115Vac, O/P: 100% load) for vertical mounting orientation.
- 4) All parameters are specified at 25°C ambient temperature unless otherwise indicated.

EK-7: İnce Röle Datasheet(Teknik Veri Dokümanı)

Datenblatt

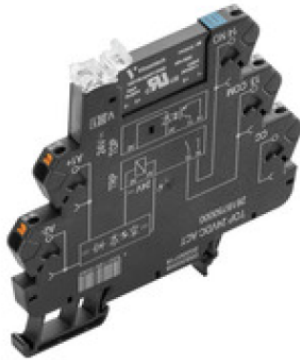
TOP 24VDC ACT

Weidmüller 

Weidmüller Interface GmbH & Co. KG
Klingenbergstraße 26
D-32758 Detmold
Germany

www.weidmueller.com

Product image



- 1 NO contact (MOS-FET)
- 6,4 mm wide
- 2 A DC output current
- Wiring optimized 24 V DC actuator version: Bridgeable, potential-free connection in the output (CC)

General ordering data

Version	TERMSERIES, Solid-state relay, Rated control voltage: 24 V DC $\pm 20\%$, Rated switching voltage: 3...33 V DC, Continuous current: 2 A, PUSH IN
Order No.	2618750000
Type	TOP 24VDC ACT
GTIN (EAN)	4050118670080
Qty.	10 Stück

Erstellungs-Datum 09 Haziran 2022 Perşembe 13:58:06 CEST

Katalogstand 03.06.2022 / Technische Änderungen vorbehalten

EK-7.1: İnce Röle Datasheet(Teknik Veri Dokümanı)

Datenblatt



TOP 24VDC ACT

Weidmüller Interface GmbH & Co. KG
Klingenbergstraße 26
D-32758 Detmold
Germany

www.weidmueller.com

Technische Daten

Dimensions and weights

Depth	87,8 mm	Depth (inches)	3,457 inch
Height	89,4 mm	Height (inches)	3,52 inch
Width	6,4 mm	Width (inches)	0,252 inch
Net weight	29 g		

Temperatures

Storage temperature	-40 °C...70 °C	Operating temperature	-20 °C...60 °C
Humidity	5-95% relative humidity, T _v = 40°C, without condensation		

Probability of failure

MTTF	1.077 Years
------	-------------

Environmental Product Compliance

REACH SVHC	Lead 7439-92-1
------------	----------------

Rated data UL

Ambient temperature (operational), max.	60 °C	Output current derating (ohmic)	1,5 A @ 60 °C, 2 A @ 55 °C
Connection cross-section AWG, min.	AWG 26	Connection cross-section AWG, max.	AWG 14
Type of conductor	rigid copper conductor, flexible copper conductor	Pollution severity level	2

Control side

Rated control voltage	24 V DC ±20 %	Nominal control current	11,5 mA DC (±10 %)
Power rating	280 mW	Pull-in/drop-out voltage, typ.	14 V / 12,5 V DC
Status indicator	Green LED	Protective circuit	Free-wheeling diode, Reverse polarity protection
Coil voltage of the replacement relay deviating from the rated control voltage	No	Coil voltage of the replacement relay	24 V DC

Load side

Rated switching voltage	3...33 V DC	Continuous current	2 A
Rated switching current	2 A	Inrush current	15 A / 10 ms
Switch-on delay	≤0,1 ms	Switch-off delay	< 1 ms
Voltage drop at max. load	≤ 120 mV	Leakage current	< 10 µA
Min. switching current	5 mA	Short-circuit-proof	No
Protective circuit, load side	Free-wheeling diode	Contact type	1 NO contact (MOS-FET)
max. switching frequency (DC control voltage)	300 Hz		

General data

Version	Actuator version
Rail	TS 35
Test button available	No
Colour	black

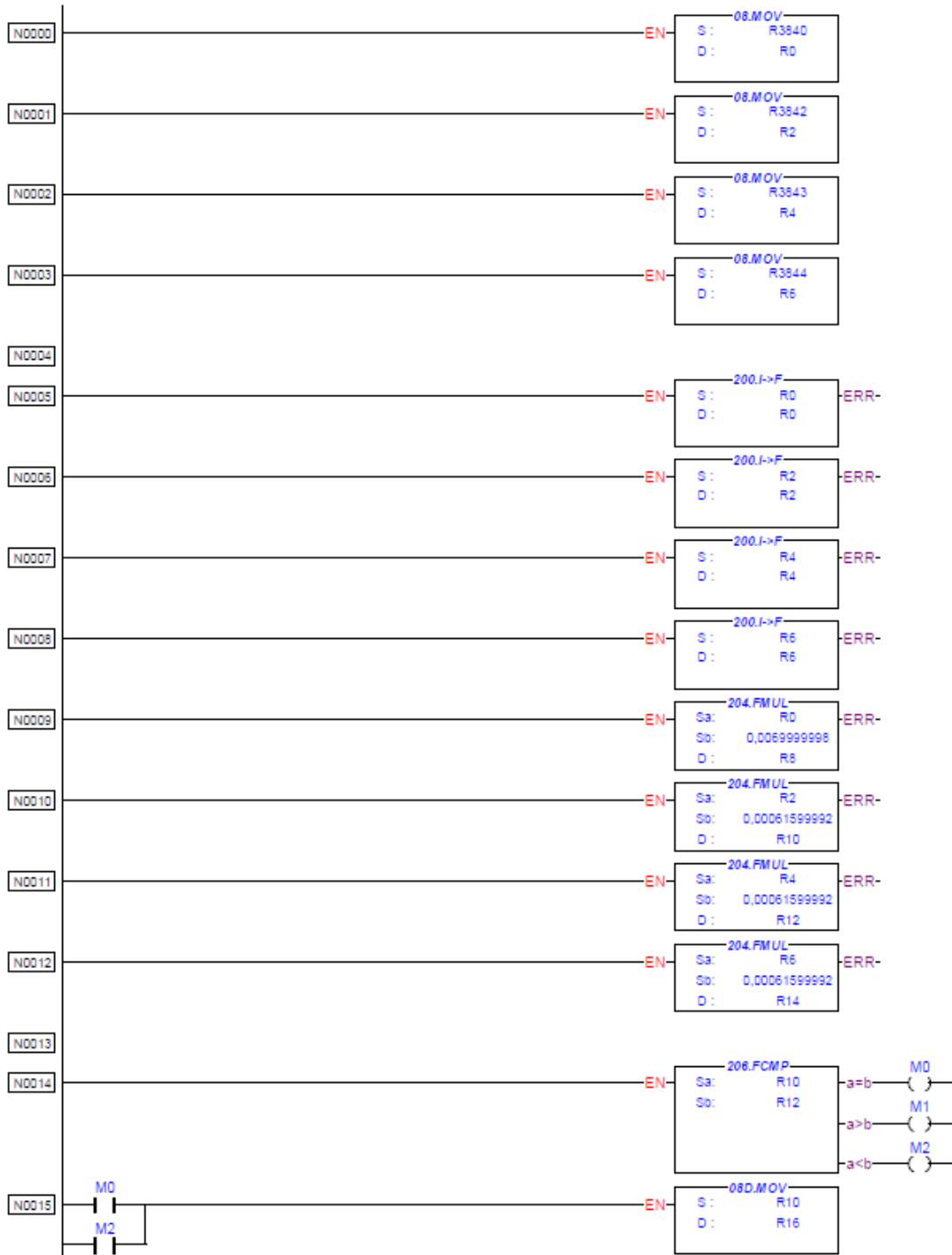
Erstellungs-Datum 09 Haziran 2022 Perşembe 13:58:06 CEST

Katalogstand 03.06.2022 / Technische Änderungen vorbehalten

2

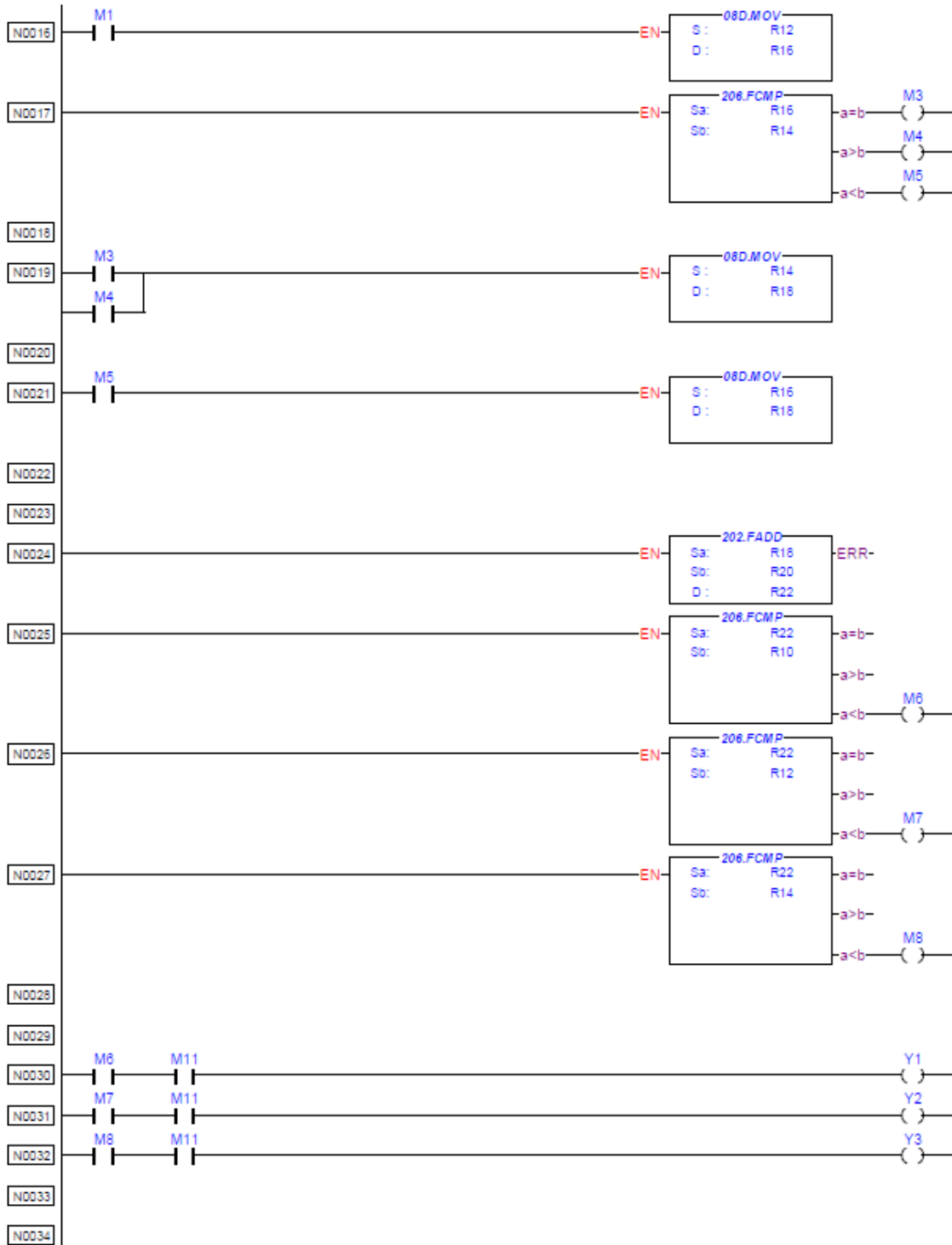
EK-8: PLC Kontrolcü Ladder Diagram (Programlama/Yazılım Kodları)

Printed Item: Ladder Diagram - Main_unit1



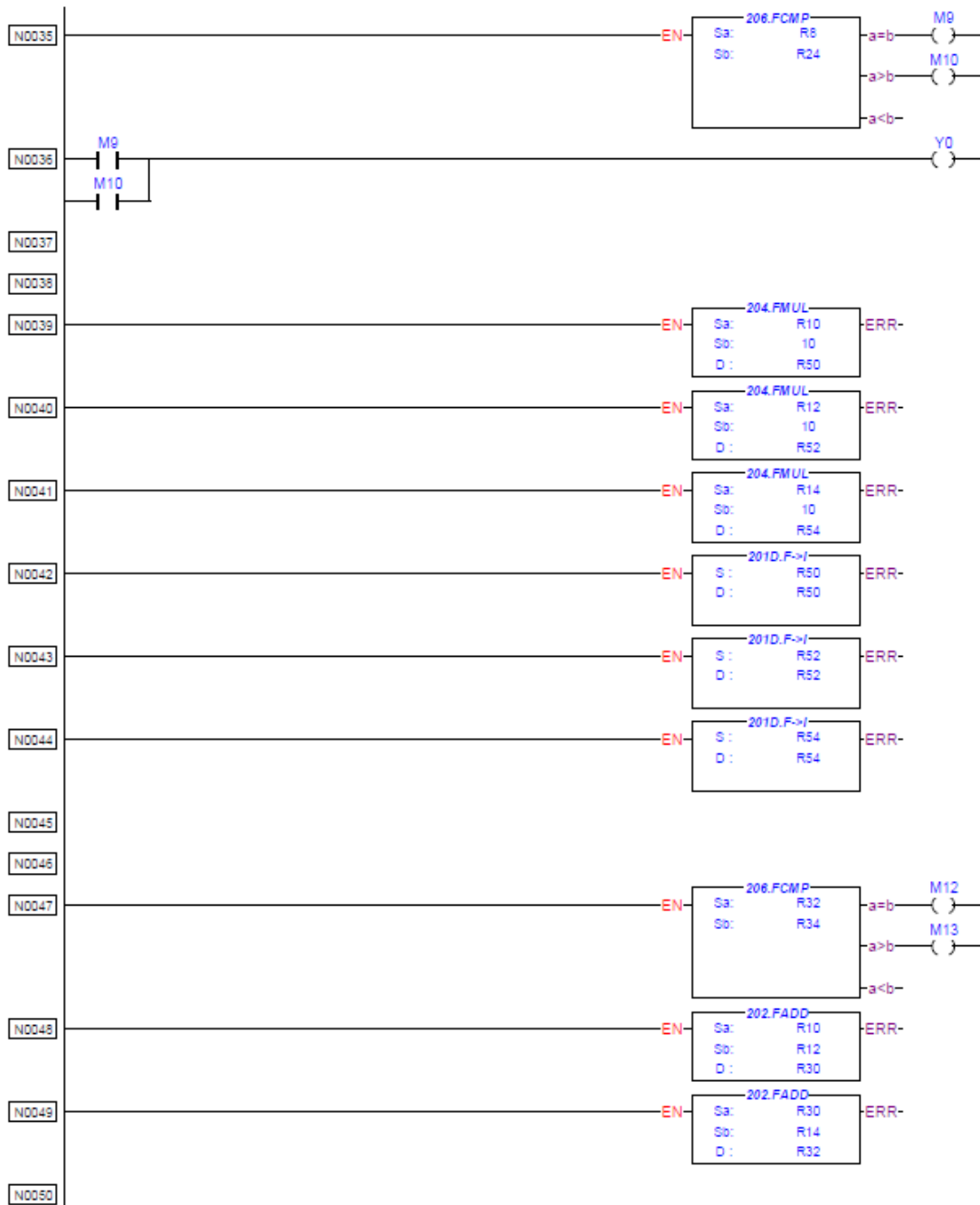
EK-8.1: PLC Kontrolcü Ladder Diagram (Programlama/Yazılım Kodları)

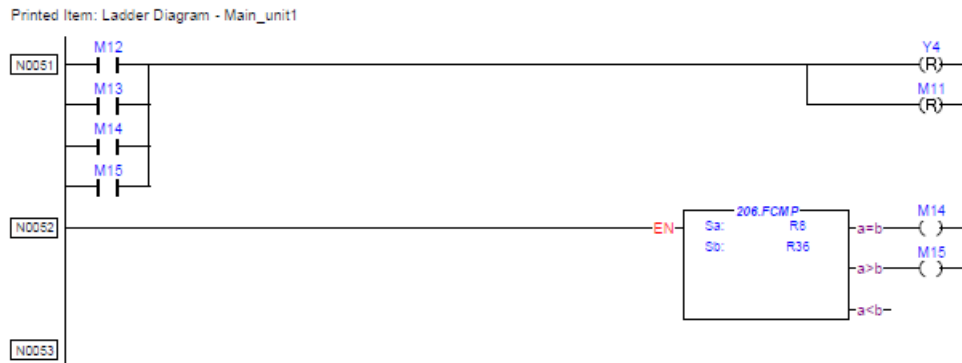
Printed Item: Ladder Diagram - Main_unit1



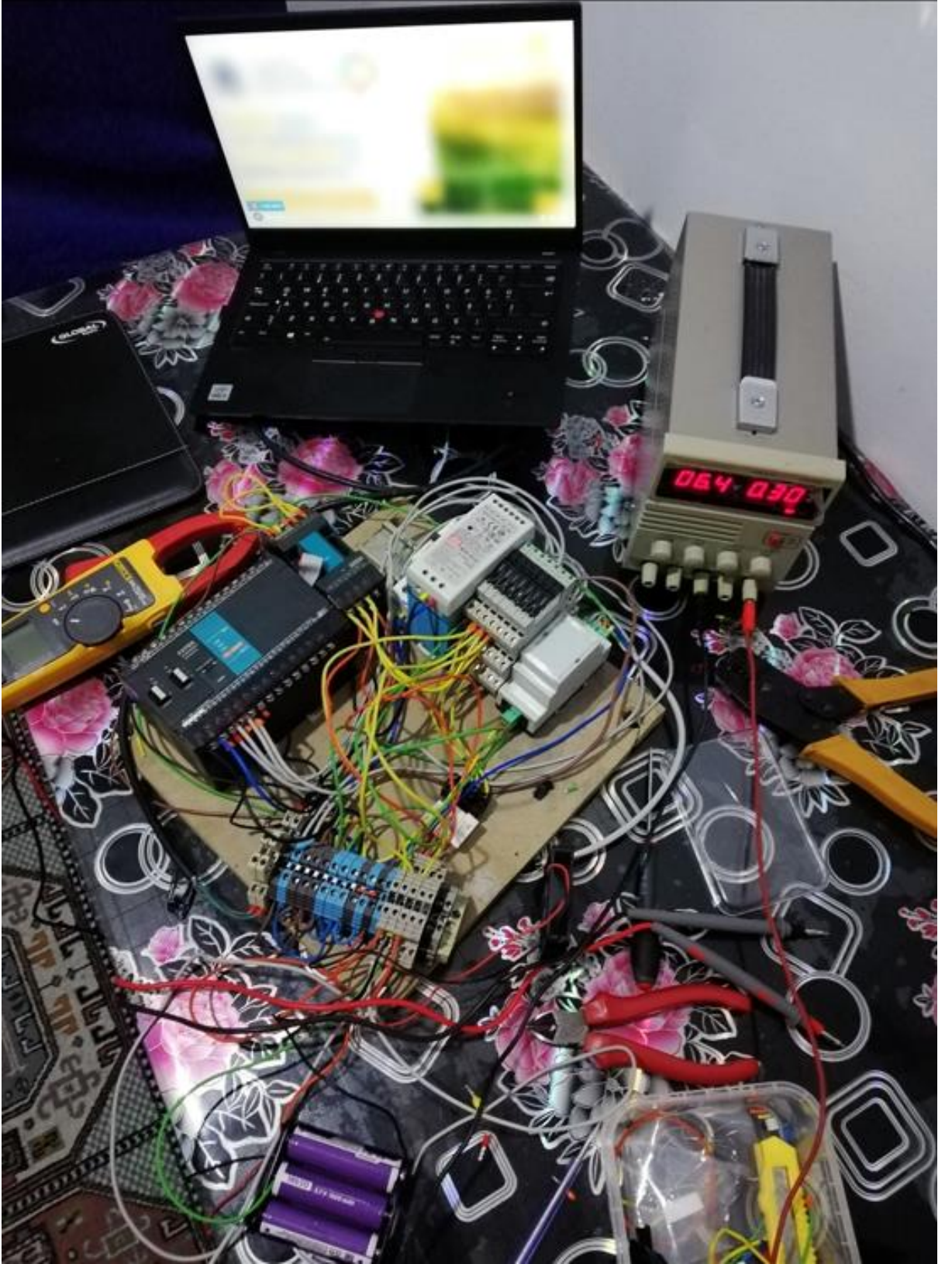
EK-8.2: PLC Kontrolcü Ladder Diagram (Programlama/Yazılım Kodları)

Printed Item: Ladder Diagram - Main_unit1



EK-8.3: PLC (Programlama/Yazılım Kodları)

EK-9: Uygulama Projesi Devre İç Yapısı Görüntüsü
(Test aşamasında kayıt altına alınan gerçek görüntü)



EK-9.1: Uygulama Projesi Görüntüleme Ekranı Görüntüsü
(Test aşamasında kayıt altına alınan gerçek görüntü)

