

ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

BİTİRME ÇALIŞMASI

Li-İYON PİLLER İÇİN BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ

DANIŞMAN

Prof. Dr. Ahmet KÜÇÜKER

HAZIRLAYAN

**HÜSEYİN CAN SAĞIR
MELİH CÜNEYT AKKAYA**

MAYIS 2021

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

Lİ-İYON PİLLER İÇİN BATARYA
YÖNETİM SİSTEMİ

BİTİRME ÇALIŞMASI

MELİH CÜNEYT AKKAYA

HÜSEYİN CAN SAĞIR

B170100077

DANIŞMAN

Prof. Dr. Ahmet KÜÇÜKER

Bu çalışma .. / .. /20... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

.....
Jüri Başkanı

.....
Üye

.....
Üye

TEŐEKKÖR

Bu çalışmanın hazırlanması, araştırmalarının yapılması, yürütölmesi ve bulguların analizinde bilgi ve tecrübelerinden faydalandığımız, çalışmanın her aşamasında ilgisinden ve bilimsel katkılarından dolayı danışman hocamız Dr. Ahmet KÜÇÜKER'e sonsuz teşekkür ve saygılarımızı sunarız.

İÇİNDEKİLER

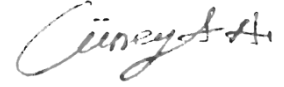
TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER	II
BEYAN.....	IV
ÖZET.....	V
SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
1.1. PROBLEMİN TANIMI	1
1.2. ÇALIŞMANIN AMACI	2
1.3. ÇALIŞMANIN KAPSAMI.....	2
1.4. LİTERATÜR ÖZETİ	3
1.5. ÇALIŞMANIN GERÇEKÇİ KISITLAR AÇISINDAN ANALİZİ	6
BÖLÜM 2. MATEMATİKSEL YÖNTEM VE TASARIM.....	7
2.1. YÖNTEM HAKKINDA GENEL BİLGİ.....	7
2.1.1 Bataryalar	7
2.1.2 Li-Ion Bataryaların İç yapısı	8
2.1.3 Batarya Yönetim Sistemi Topolojileri.....	10
2.1.3.1 Merkezi Topoloji Batarya Yönetim Sistemleri	11
2.1.3.2 Modüler Topoloji Batarya Yönetim Sistemleri.....	12
2.1.3.3 Dağıtılmış Topoloji Batarya Yönetim Sistemleri.....	13
2.1.4 Ölçme	14
2.1.4.1 Batarya Gerilimlerini Ölçülmesi	14
2.1.4.2 Batarya Sıcaklıklarını Ölçülmesi.....	15
2.1.4.3 Bataryaların Şarj ve Deşarj Akımını Ölçülmesi	16
2.1.5 Koruma	17
2.1.5.1 Aşırı Akım Koruması	17
2.1.5.2 Gerilim Koruması.....	17
2.1.5.3 Sıcaklık Koruması	18
2.1.5.4 Dengeleme:.....	18
2.1.6 Batarya Hücrelerini Dengeleme Yöntemleri	19
2.1.6.1 Pasif Dengeleme	19
2.1.6.2 Aktif Dengeleme	20
2.1.6.2.1 Kondansatör Tabanlı Dengeleme Yöntemleri	20
2.1.6.2.2 Bobin Tabanlı Dengeleme Yöntemleri.....	21
2.1.6.2.3 Dönüştürücü Tabanlı Dengeleme Yöntemleri.....	22
2.1.7 Hesaplama	25
2.2 TASARIM.....	26
2.2.1 Mikro denetleyici.....	27
2.2.2 DC-DC Gerilim Dönüştürücü.....	27
2.2.3 Gerilim Ölçme Devresi.....	28
2.2.4 Sıcaklık Ölçme Devresi	29
2.2.5 Akım Okuma	31
2.2.6 Röle Kontrol Devresi.....	32

2.2.7 Gerilim Dengeleme Devresi	32
BÖLÜM 3. UYGULAMA ÇALIŞMALARI.....	34
3.1 UYGULAMADA KULLANILAN ARAÇ VE GEREÇLER	34
3.2 UYGULAMANIN GERÇEKLEŞTİRİLMİŞ AŞAMALARI	39
3.3 UYGULAMA SONUÇLARI VE YORUMLANMASI.....	42
BÖLÜM 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	44
4.1 SONUÇLAR	44
4.2 ÖNERİLER	44
4.3. SONUÇLARIN SAĞLIK, ÇEVRE VE GÜVENLİK AÇISINDAN ANALİZİ	44
BÖLÜM 5. KAYNAKLAR	45
BÖLÜM 6. ÖZ GEÇMİŞ.....	49
BÖLÜM 7. EKLER.....	50
EK A. IEEE Etik Kurallar Onay Formu	50
EK B. SEMİNER, FUAR, KONFERANS KATILIM BELGESİ	51
EK C. ÇALIŞMA YÖNETİMİ	52
EK D. ÇALIŞMA İLE İLİŞKİLİ DİĞER EKLER	54
EK D.1. ÇALIŞMA YAZILIM KODLARI	54
EK D.2. SOC TAHMİNİ İÇİN MATLAB PROGRAMINDA EĞRİ UYDURMA	63

BEYAN

Bitirme çalışması içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, çalışmada yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

İmza :



Melih Cüneyt AKKAYA

05 / 06 / 2021

İmza :



Hüseyin Can SAĞIR

05 /06 / 2021

ÖZET

Bu çalışmada genellikle elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların takibi ve korunması için bir batarya yönetim sistemi tasarlanmıştır. Elektrikli araçlarda araçlar da menzilin artırılması için bataryalar seri ve paralel olarak bağlanmalıdırlar. Bu hususta zaten üretim hattından tam olarak eş özelliklerden çıkmayan bataryaların özellikleri kullanıldıkça daha da değişmektedirler. Bu değişimler büyük zararlara yol açabilirler. Bundan dolayı bataryaların gerilim akım doluluk oranı sıcaklık gibi parametreleri sürekli olarak izlenmelidir ve güvenlik önlemleri alınmalıdır.

Problemin çözümünde batarya gerilimleri Op-Amp fark alıcı devreleriyle, şarj akımı Acs712 akım sensörüyle ve batarya sıcaklıkları NTC sensörleriyle alınmışlardır. Batarya gerilimleri basit bir pasif balans devresiyle eşitlenmiştir. SOC tahmini için Li-İyon pillerin genel bir OCV-SOC eğrisinin batarya gerilimlerine bağlı bağıntısı Matlab programında eğri uydurma yöntemiyle elde edilmiştir. Bu denklemden elde edilen bir ilk SOC değeri Coulomb sayıcı metodunda kullanılarak SOC için tahmini bir değer hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen bu bitirme ödevi çalışmasında merkezi tip bir batarya yönetim sistemi tasarlanmış ve çalışan bir prototipi üretilmiştir. Şarj akımı, batarya gerilimleri ve sıcaklık bilgisi makul tolerans değerlerinde ölçülmüştür. Bataryaların doluluk oranı SOC tahmini yapıp batarya gerilimlerinin balans edilebildiği anlaşılmıştır. Tüm bu veriler izlenilmek üzere ara yüze aktarılmıştır.

SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ

BYS	: Batarya Yönetim Sistemi
BMS	: Battery Management System
PCB	: Printed Circuit Board
SOC	: State Of Charge
SOH	: State Of Health
ADC	: Analog to Digital Converter
LCD	: Liquid Crystal Display
NTC	: Negative Temperature Coefficient
DC	: Direct Current
LED	: Light Emitting Diode
EV	: Electric Vehicle
PWM	: Pulse Width Modulation
UART	: Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
OCV	:Open Circuit Voltage

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1: Li-İyon bataryanın iç yapısı	8
Şekil 2. 2: Batarya Yönetim Sisteminin Faaliyetleri.....	10
Şekil 2. 3: Merkezi Topoloji Batarya Yönetim Sistemi	11
Şekil 2. 4: Modüler Topoloji Batarya Yönetim Sistemi	12
Şekil 2. 5: Dağıtılmış Topoloji Batarya Yönetim Sistemi	13
Şekil 2. 6: Batarya Gerilimlerini Ölçme Yöntemleri	14
Şekil 2. 7: NTC direnci	15
Şekil 2. 8: Akım ölçümü için kullanılan sensor ve şönt direnci.....	17
Şekil 2. 9: Pasif Dengeleme Yöntemleri Devre Şemaları	20
Şekil 2. 10: Kondansatör Tabanlı Aktif Dengeleme Yöntemlerinin Devre Şemaları	21
Şekil 2. 11: Babin Tabanlı Aktif Dengeleme Yönteminin Devre Şeması.....	22
Şekil 2. 12: Cuk Tabanlı Dengeleme Yöntemi Devre Şeması	23
Şekil 2. 13: Fly-Back Çevirici Tabanlı Dengeleme Yöntemi Devre Şeması.....	24
Şekil 2. 14: Tasarlanan BYS nin blok şeması	27
Şekil 2. 15: AtMEGA328p Mikro Denetleyicisinin Pin Çıkışları	27
Şekil 2. 16: Lm7805 dc Voltaj Regulatorünün Devresi.....	28
Şekil 2. 17: Fark Alıcı Op-Amp Devre Şeması.....	28
Şekil 2. 18: NTC Sıcaklık-Direnç Eğrisi.....	29
Şekil 2. 19: NTC nin Bağlantı Devre Şeması	30
Şekil 2. 20: ACS712-5A Sensörünün Akım-Gerilim Grafiği	31
Şekil 2. 21: Röle Kontrol Devre Şeması	32
Şekil 2. 22: Gerilim dengeleme devresinin şeması	33
Şekil 3. 1: ICR 18650 2500mAh Li-İyon Piller	34
Şekil 3. 2: 18650 Pil Yuvası.....	35
Şekil 3. 3: NTC sensörü devresi.....	35
Şekil 3. 4: LM7805 Devresi	36
Şekil 3. 5: Dengelem Devresinin 3B Görüntüsü	36
Şekil 3. 6: Fark Alıcı Op-Amp Devresinin 3B Görüntüsü.....	37
Şekil 3. 7: Arduino Uno Geliştirme Kartı	37
Şekil 3. 8: ACS712-5A Akım Sensörü	38
Şekil 3. 9: 5V Röle Kartı.....	38

Şekil 3. 10: 2x16 LCD ekran.....	38
Şekil 3. 11: Pil Karakteristiğinin Ölçüm Devresi.....	39
Şekil 3. 12: Gerilim Okuma Kartı	39
Şekil 3. 13: Gerilim Dengeleme Kartı.....	40
Şekil 3. 14: LCD Arayüzü 1. Sayfa.....	41
Şekil 3. 15: LCD Arayüzü 2. Sayfa.....	41
Şekil 3. 16: BYS'nin Aktif Halde Çalışan Görüntüsü	42
Şekil 3. 17: BYS Parametrelerinin SeriPport Görüntüsü	43

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	İkincil Bataryaların Karşılaştırılması	10
Tablo 2.2.	Batarya Yönetim Sistemi Topolojilerinin Karşılaştırılması	14
Tablo 7.1.	İş-Zaman Çizelgesi	54
Tablo 7.2.	Maliyet Hesabı	55

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Çalışmanın giriş bölümünde, ele alınan problemin tanımlanması, amaç ve hedeflerin belirtilmesi, çalışmanın sınırlarının ve kapsamının belirlenmesi, literatürde yer alan kaynakların araştırılarak önceden yapılmış çalışmalar hakkında bilgiler sunulması hedeflenmiştir.

1.1. Problemin Tanımı

Bataryalar elektrik enerjisini kimyasal enerji olarak saklayabilme yetenekleri bulunan araçlardır. Batarya teknolojilerinin gelişmesi sayesinde yüksek güç gerektiren elektrikli cihazlar her an şebekeye bağlı olmadan kullanılabilir hale gelmişlerdir. Yüksek güçler sağlayabilmek için birçok batarya birbirlerine seri ve paralel olarak bağlanmalılardır. Bu hususta zaten üretim hattından tam olarak eş özelliklerden çıkmayan bataryaların özellikleri kullanıldıkça daha da değişmektedirler. Bu değişimler büyük zararlara yol açabilirler. Bundan dolayı bataryaların gerilim akım doluluk oranı sıcaklık gibi parametreleri sürekli olarak izlenmelidir ve güvenlik önlemleri alınmalıdır. Bu probleme bir çözüm olarak bataryaların değişen parametreleri karşısında kendi aralarında iletişim sağlayarak dengeleme işlemini gerçekleştirebileceği batarya yönetim sistemleri ortaya çıkmıştır.

Son zamanlarda batarya teknolojinin gelişmesiyle birlikte elektrikli araçlar (EV), küresel ısınma sorununa, çevresel talepler ve toplumdaki davranış değişikliklerine yanıt olarak ortaya çıkarak toplumda daha geniş bir alan kazanmaktadır. Batarya yönetim sistemi (BMS), elektrikli araçlarda çok hayati bir role sahiptir. Tasarımı oldukça zordur bunun nedenlerini sıralanırsa birincisi, batarya davranışının modellenmesi bir hayli karmaşıktır ikinci olarak ise, sistemin gerçek zamanlı koşullarda akım, voltaj ve sıcaklık gibi batarya parametrelerini denetlemesi gerekmektedir. Batarya yönetim sistemi, ölçülen pil parametrelerine göre pilleri dengelemek ve belirli iç ve dış etkenlere karşı koruma sağlamak zorundadır ancak ne yazık ki çoğu zaman aşırı yük altında hücreler düzensiz şarj ve deşarja sahip olabilirler. Bu, sistemin kontrolünü daha da karmaşık hale getirmektedir. Sistem aynı zamanda pilin ömrü boyunca pilin durumunu analiz edebilmelidir, ancak pil parametrelerinin çoğu zaman sıcaklık gibi birden çok faktöre bağlı olduğundan bu da sistemi karmaşıklığa sürüklemektedir.

Bu çalışmada lityum iyon pil ailesinden ICR18650 pilleri ile dört hücreden oluşan bir batarya bankının çalışma sırasında hücre gerilimlerini sabitleyecek, aşırı sıcaklık akım gerilim durumlarında güvenlik önlemi alabilecek ve bu parametrelerin anlık değerlerini haberleşme protokolleri vasıtası ile ana üniteye aktarabilecek bir batarya yönetim sistemi tasarlanmıştır.

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı Li-İyon bataryalar için bir batarya yönetim sistemi tasarlamaktır. Sistem batarya yönetim sistemi fonksiyonlarını gerçekleştirilmesi için gereken devreleri ve yazılımları içermektedir.

Elektrikli araçlarda araçlarda menzilin artırılması için bataryalar seri ve paralel olarak bağlanmalıdırlar. Bu hususta zaten üretim hattından tam olarak eş özelliklerden çıkmayan bataryaların özellikleri kullanıldıkça daha da değişmektedirler. Bu değişimler büyük zararlara yol açabilirler. Bundan dolayı bataryaların gerilim akım doluluk oranı sıcaklık gibi parametreleri sürekli olarak izlenmelidir ve güvenlik önlemleri alınmalıdır.

Bu çalışma üç ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar koruma, ölçme, izleme ve hesaplama. Ölçme bölümünde batarya hücrelerinin gerilimleri, sıcaklıkları ve akımları mikro denetleyici tarafından algılandıği bölümdür. Bunlar diğer bölümlerde gerçekleştirilecek işlemler için gerekli parametrelerdir ve faaliyetlerin doğruluğu için gerçek değerlerine çok yakın ölçülmelidirler.

Koruma bölümü aşırı akım, anormal sıcaklık gibi durumlarda bataryanın yük ve şarj devresiyle olan bağlantısını koparacak röle devresinin çalıştırıldığı bölümdür.

Hesaplama bölümünde elde edilmiş olunan parametreler ile bataryaların şarj durumları ve sağlık durumları yaklaşık olarak hesaplanacaktır.

İzleme bölümünde batarya hücrelerinin gerilim, akım, sıcaklık, SOC, SOH değerleri ara yüzde görüntülenecektir.

1.3. Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışma üç ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar koruma, ölçme, izleme ve hesaplama. Ölçme bölümünde batarya hücrelerinin gerilimleri, sıcaklıkları ve akımları mikro denetleyici tarafından algılandıği bölümdür. Bunlar diğer bölümlerde

gerçekleştirilecek işlemler için gerekli parametrelerdir ve faaliyetlerin doğruluğu için gerçek değerlerine çok yakın ölçülmelidirler.

Koruma bölümü aşırı akım, anormal sıcaklık gibi durumlarda bataryanın yük ve şarj devresiyle olan bağlantısını koparacak röle devresinin çalıştırıldığı bölümdür.

Hesaplama bölümünde elde edilmiş olunan parametreler ile bataryaların şarj durumları ve sağlık durumları yaklaşık olarak hesaplanacaktır.

İzleme bölümünde batarya hücrelerinin gerilim, akım, sıcaklık, SOC, SOH değerleri ara yüzde görüntülenecektir. Li-İyon piller kimyasal yapıları itibariyle 2.8 V ve 4.2 V ve arasında kullanılmalıdırlar. Piller şarj ve deşarj durumlarında bu aralığın dışına çıkmaları durumlarında pil bir daha kullanılamamak üzere tahrip olabilir hatta yangın gibi vahim olay meydana gelebilir. Bu yüzden pillerin bu aralıkta kalışı batarya yönetim sistemi tarafından temin edilmelidir. Pil gerilimleri sıcaklıkları akım değerleri az hatalı bir şekilde ölçülerek, pillerin güvenli değerlerde çalışıp çalışmadığından emin olunmalıdır. Bunun için batarya gerilim balans devresi ile pillerin gerilimlerinin 4.2 V üzerine çıkmaları engellenecektir. Bataryaların gerilimlerinin 2.4 V 'a yakın bir değere gelmesinde ise bataryaların şarj edilmesi istenecektir. Lityum iyon pillerin en iyi verimli deşarj sıcaklıkları -20°C ile 60°C iken en iyi verimli şarj sıcaklıkları 10°C ile 45°C 'tır. Geniş bir termal çalışma alanına sahiptirler. Batarya sıcaklıkları ölçülüp güvenli aralıklarda olup olmadıkları bilinmelidirler. Ayrıca batarya sıcaklıklarının, sıcaklığın sonuçları değiştirdiği hesaplamalarda da göz önünde bulundurulması elzemdir.

1.4. Literatür Özeti

Kıvrak (2020) Li-iyon tabanlı pil sisteminde, pasif şarj dengeleme yöntemi kullanılarak pil yönetim sistemi (BMS) uygulamıştır. Pasif dengeleme tekniği BYS'lerinde yaygın olarak kullanılmakta olduğu çünkü bu tekniğin uygulaması basit ve maliyet düşük olduğundan bahsetmiştir. Sistemi için modüler BYS topolojisi kullanmıştır. BYS'de yönetici kartta mikro denetleyici olarak STM32f103C8 ve yardımcı kartlarda ise PIC18f4520 mikro denetleyicisi kullanmıştır. Dört adet akü hücresinin gerilimleri, akımları ve sıcaklıkları tasarlanan kontrol sistemi ile ölçülüp kontrol etmiştir. Gerçekleştirdiği deneyler sonucunda, pasif dengeleme yönteminin uygulandığını ve pil hücrelerinin başarıyla şarj edildiğini göstermiştir.[1]

Kristaps VITALS (2014) Çalışmasında pasif dengeleme devresi ile ilgili önceki çalışmasından atıflar yapmış, pasif dengeleme devresinin performansını vermiş ve sakıncalarını tartışmıştır. Aktif dengeleme yöntemlerinin daha verimli olduğu vurgulanmıştır. Yeni önerilen aktif dengelem yöntemi, Fly-back dönüştürücü tabanlı dengelemeyi tanıtmıştır. Sistemin işleyişini değerlendirmek için Fly-back dönüştürücü girişine üç adet süper kondansatör bağlamış ve bataryadaki her hücre için şarj devresi geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ve sistemin pasif dengelemeye göre daha iyi bir performans sergilediği kanıtlanmıştır.[2]

Z.Wangbin, H. Jun, C. Haitao, L. Huiying. ve W. Chunyu ‘nun 2018 yılında yazdığı bu makalede uzayda kullanılacak Li-iyon batarya hücreleri için Fly-back tabanlı dengeleme topolojisine sahip bir aktif denge devresi tasarımı önerilmiştir. Devre, Lityum-iyon hücre paketleri için denge işlevi sağlamak üzere PWM kontrolü ile denge akımının değerini kontrol edebilmekte olduğunu anlatmaktadırlar. Pasif denge devresine kıyasla, aktif denge devresi, yüksek kapasiteli pil paketlerinin denge hızını etkili bir şekilde arttırdığını söylemektedir. Çalışmaya göre bu yöntem pil paketlerinin enerji kaybını azaltır ve pil paketlerinin hizmet ömrünü uzatır. Gerçekleştirdiği deneyde sonuç olarak, yöntemin doğruluğunu ve verimliliğini kanıtlamışlardır.[3]

Zheng, M., Qi, B., & Wu, H., (2008) çalışmalarında CANBUS protokolü ile haberleşebilen bir devre kartı tasarımı gerçekleştirmiştir. Yaptıkları deneylerde 22 adet batarya hücresini kontrol edebilen modüler bir batarya yönetim sistemi tercih edilmiştir. Tasarımını gerçekleştirdikleri modüller ile elektrikli bir araçta, araçtaki diğer sistemlerle CANBUS üzerinden iletişim kurulmuştur. Yalnızca bağlı bulunduğu kısmın akımını, gerilimini ve sıcaklığını ölçen ve bu verileri CANBUS protokolü ile ileten modüller ve bu ölçümler ile SOC tahmini hesaplayabilen akıllı bir ana modül tasarımı yapmışlardır. [4]

F. Baronti, G. Fantechi, R. Roncella ve R. Saletti (2013) yaptıkları çalışmada, hücre dengeleme topolojileri üzerine incelemeler yapmıştır. Bu kapsamda süper kapasitörler kullanarak hücreden-hücreye, hücreden-batarya ve bataryadan-hücrelere çeşitli aktif dengeleme teknikleri üzerine çalışmalar yapmıştır. Gerilim değeri yüksek olan hücreler, DC-DC çeviriciler ile sahip oldukları enerjilerini öncelikle süper kapasitörlere aktarmış ve süper kapasitörler üzerinde elektrik alanda depolanan fazla enerji de kapasitesi düşük olan hücre gruplarına DC-DC çeviriciler üzerinden tekrar

yönlendirilmiştir. Bu organizasyon anahtarlamadevre elemanları yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda test çalışması yapılmış olan aktif dengeleme metotları karşılaştırılmıştır, kendi içlerinde avantaj ve dezavantajları ortaya koyulmuştur.[5]

Tolga OZER (2020) Bu çalışmada elektrikli araçlarda kullanılmak üzere pasif ve aktif yöntem tabanlı iki farklı batarya yönetim sistemi tasarlamış ve uygulamasını gerçekleştirmiştir. Bu batarya yönetim sistemlerinden birincisi hem aktif hem de pasif dengeleme yöntemini, ikincisi de sadece pasif dengeleme yöntemini içermektedir. Aktif ve pasif dengeleme yönteminin aynı devre topolojisinde uygulanabileceği bir devre tasarımı literatürde ilk defa yapılmıştır. Bu yöntemlerin uygulanabilirliği oluşturulan iki farklı deneysel sistemle test edilmiştir. Bu sistemlerin başarılı bir şekilde çalıştığı elde edilen deneysel sonuçlar aracılığı ile kanıtlanmıştır.[6]

Tolga BAYKAL (2013) Tez kapsamında, 4 adet seri bağlanmış lityum polimer bataryaya paralel olarak bağlanan, içerisinde izoleli haberleşme, güç ve ölçüm bloklarını barındıran bir kart tasarlamıştır. Devreler ve entegreler için gereken güç, kartın bağlı bulunduğu bataryadan sağlanmıştır. Batarya yüzey sıcaklığının ölçülmesi LM35 sensörleriyle yapmıştır. Ölçüm ve haberleşme algoritmalarının 8-bit mikro denetleyici ile sağlandığı kartlar aynı haberleşme hattına bağlanmıştır. Ayrıca, tüm ölçme birimleriyle iletişim kuran ve verileri görsel olarak kullanıcıya gösteren bir bilgisayar yazılımı da tez kapsamında yapılmıştır. Deneyler sonucunda, tasarlanan batarya izleme sisteminin, olası tüm fonksiyonları ele alınan batarya yönetim sistemi ve son ürün haline getirilmiş ticari batarya yönetim sistemleri ile karşılaştırılması yapılarak, kapasitesi ortaya koymuştur. Tasarlanan sistemin hangi parametreler ve amaçlar çerçevesinde geliştirilebileceğini, daha iyi sistemler için yapılması gereken çalışmalar hususunda bakış açısı geliştirmeye çalışmıştır.[7]

1.5. Çalışmanın Gerçekçi Kısıtlar Açısından Analizi

Kontrolü gerçekleştirilen hücrelerin hücre sayısının belirli bir sayıda kalması bir kısıttır. Batarya yönetim sisteminde hücre gerilimleri, hücre sıcaklıkları ve batarya akımı analog sinyal olarak mikro denetleyiciye ulaşmaktadır. Kullanılan mikro denetleyicinin sahip olduğu analog dijital çevirici sayısı kontrol edilecek hücre sayısından en az 2 adet daha fazla olmalıdır. Bundan dolayı kontrol edilecek hücre sayısının arttırılması için daha fazla analog dijital çeviri sayısına sahip bir mikro denetleyici seçilmelidir ve bu da daha fazla maliyet demektir. Diğer bir kısıt ise hücrelerin dengelenme süresidir. Dengelenme süresini arttırmak için dengeleme akımını arttırmak gerekir. Ancak dengeleme akımının artması, dengeleme dirençleri üzerinden daha fazla ısıya sebep olacak ve bataryanın sıcaklığını arttıracaktır. Bunun sorunun çözümü için soğutucu kullanılabilir. Soğutucunun kullanılması maliyeti ciddi derecede arttıracaktır.

BÖLÜM 2. MATEMATİKSEL YÖNTEM ve TASARIM

Bu bölümde çalışmada kullanılan yöntem ya da yöntemlere ait bilgilendirme ve yöntemin çalışmada kullanımına ilişkin literatür araştırmalarına yer verilmiştir. Yöntem veya yöntemlerin problemin çözümünde kullanımı ve tasarım aşamaları da bu bölümde verilmektedir.

2.1. Yöntem Hakkında Genel Bilgi

2.1.1 Bataryalar

Bataryalar elektrik enerjisini kimyasal tepkimeler sonucu açığa çıkan enerjiyi saklayabilen depolama birimleridir [24]. Bataryalar, elektrik enerjisinin depolanması gereken taşınabilir elektronik cihazlarda, yenilenebilir enerji santrallerinde ve elektrikli araçlar gibi sayabileceğimiz birçok alanda kullanılmaktadırlar. [25]

Batarya grubu, seri veya paralel olarak bağlanmış bataryalardan bir araya gelmesinden oluşur. Bataryalar ise hücrelerden meydana gelen bütünlerdir. Hücreler ise bir ya da birden fazla seri bağlanmış pillerden oluşturulmaktadır.

Batarya ve batarya kapasitesi ile ilgili genel ifadelerden bazıları şu şekildedir. [24]

Hücre: Depolanmış kimyasal enerjiden elektriksel enerjiyi üretebilen veya elektriksel enerjiyi, kimyasal enerji halinde biriktirebilen en küçük birimdir. Seperatör ve iki elektrottan (pozitif ve negatif elektrotlar) oluşmaktadır.

Enerji yoğunluğu [Wh/l]: Bataryanın hacimsel olarak enerji biriktirme yoğunluğunu gösterir. Enerji yoğunluğu birim hacimdeki watt-saat şeklinde ifade edilir.

Güç Yoğunluğu [W/l]: Bir bataryanın hacimsel olarak güç biriktirme yoğunluğunu gösterir. Güç yoğunluğu birim hacimdeki watt cinsinden ifade edilir.

Anma kapasitesi: Amper-saat cinsinden, toplam şarjı gösteren ve üretici tarafından gösterilen bataryanın kapasite [Ah] değeri olarak adlandırılır.

Özgül Enerji [Wh/kg]: Birim kütle başına enerji biriktirme yoğunluğunu gösteren birim olarak adlandırılır.

Özgül Güç [W/kg]: Birim kütle başına güç yoğunluğunu gösteren birim olarak adlandırılır.

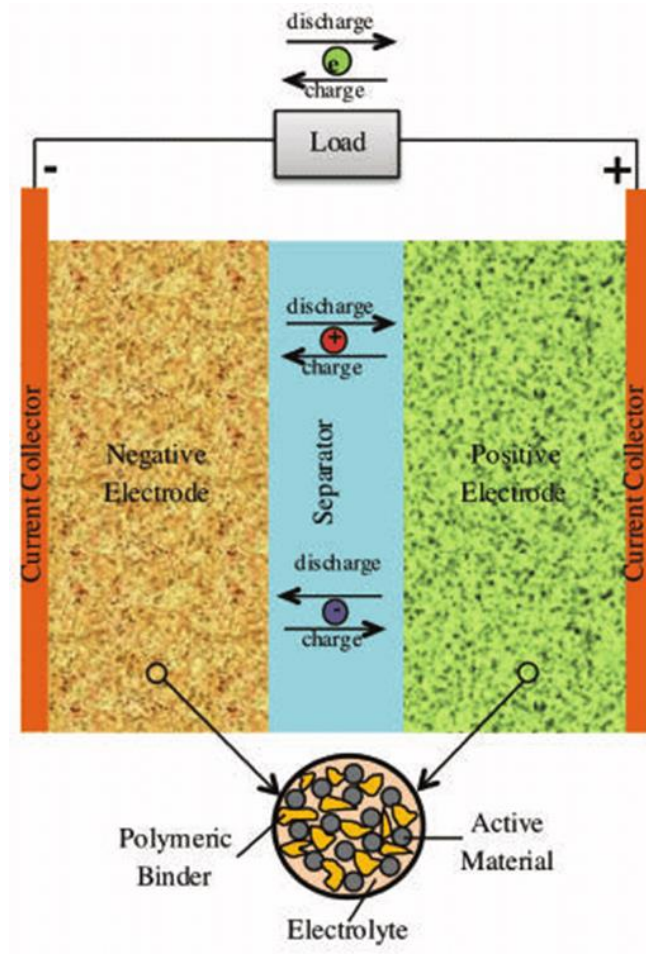
C-oranı: Ah olarak anma kapasitesinde gösterilen şarj veya deşarj akım değerine denir. Önüne getirilen çarpan ile daha yüksek ya da daha düşük akım değerlerini ifade eder.

Çevrim ömrü: Belirli bir performans değeri baz alınarak (genelde %80 Ah anma kapasite değeri) tanımlı koşullarda bir batarya ya da hücrenin şarj ve deşarj edilme sayısını gösterir.

Kesme gerilimi: Batarya veya hücrenin deşarjının bittiği uç gerilime verilen isimdir.

2.1.2 Li-Ion Bataryaların İç yapısı

Li-Ion piller çoğunlukla dört ana bileşenden oluşur bunlar katot anot elektrolit ve ayırıcı kısımlarıdır. Pilin çalışabilmesi için bu dört element çok önemlidir çünkü çalışma prensibi gereği herhangi biri olmaz ise pil çalışmaz.



Şekil 2. 1: Li-İyon bataryanın iç yapısı

Lityum iyon pil, lityumun kimyasal reaksiyonları yoluyla elektrik üretir. Bu nedenle pilin içine lityum yerleştirilir ve bu lityum boşluğuna "katot" denir. Bununla birlikte, lityum element formunda kararsız olduğundan, katot için lityum ve oksijen, lityum oksit kombinasyonu kullanılır. Gerçek pilin elektrot reaksiyonuna tıpkı lityum oksit gibi müdahale eden malzemeye “aktif malzeme” denir. Başka bir deyişle, bir Li-ion pilin katotunda, aktif malzeme olarak lityum oksit kullanılır

Katoda daha yakından bakarsanız, katot kaplı çerçevesini tutmak için kullanılan ince bir alüminyum folyo bulacaksınız. Aktif malzeme lityum iyonları içerir, iletkenliği artırmak için iletken katkı maddesi eklenir; ve bağlayıcı, aktif malzemenin ve iletken katkı maddesinin alüminyum alt tabaka üzerine iyice yerleşmesine yardımcı olan bir yapışkan görevi görür.

Pilin kapasitesi ve voltajı, katot için kullanılan aktif malzeme türüne göre belirlendiğinden, katot, pilin özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynar. Lityum miktarı ne kadar yüksekse, kapasite o kadar büyüktür; ve katot ve anot arasındaki potansiyel fark ne kadar büyükse, voltaj o kadar yüksek olur. Potansiyel farkı, türlerine bağlı olarak anot için küçüktür ancak katot için potansiyel fark, genel olarak nispeten yüksektir. Bu nedenle, katot, pilin voltajını belirlemede önemli bir rol oynar.

Anot: Batarya şarj olurken lityum iyonları katot yerine anotta depolanır. Bu noktada batarya deşarj duruma geçerse yani anot ve katot arasında akım akabilecek bir yol oluşursa lityum iyonları elektrolit üzerinden katoda akar ve lityum iyonlarından ayrılan elektronlar akım yolundan geçerek pilde depolanan elektrikten istifade edilmiş olunur.

Anot olarak stabil bir yapıya sahip olan ve aktif bir madde ile kaplanmış grafit kullanılır. Bunun sebebi

Elektrolit Malzeme: “İyonlar ile elektron hareketini sağlar” Yalnızca lityum iyonlarının hareketini sağlanayan ortam olarak hizmet eder. Şarj ve deşarj etkinliğini artırmak için yüksek iyonik iletkenliğe sahip malzemeler kullanılır. Muhtevasında bir akım tuzları ve solventleri içerir.

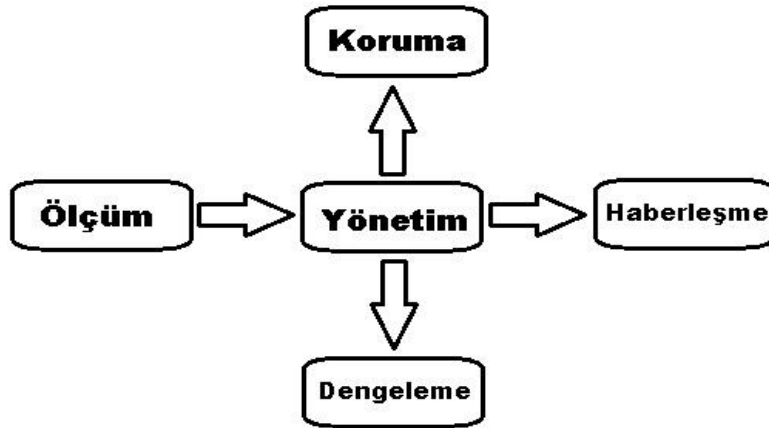
Ayırıcı Kısım: “Anot ve katod arasındaki bariyerdir” Anot ve katotun özellikleri daha çok bataryanın performansı ile ilgili olarak ayırıcı ve elektrolit bataryanın güvenli çalışma aralıklarını belirler. Yüklerin düzensiz bir şekilde akışını engeller. İyonların yalnızca bünyesinde mikroskobik deliklerden geçişine izin verir. Bugün sahip kullanılan ticari ayırıcılar, polietilen ve polipropilen gibi sentetik reçinelerdir.

Pil Türü	Kurşun-asit	Ni-Cd	Ni-MH	Zn-Br	Fe-Cr	Li-iyon
Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	30-50	45-80	60-120	35-54	20-35	110-160
Güç Yoğunluğu(W/kg)	180	150	250-1000	-	70-100	1800
Nominal Gerilim	2V	1.25V	1.25V	1.67V	1.18V	3.7V
Çalışma Sıcaklığı	-20 -60°C	-40 - 60°C	-20 – 60°C	-20 - 60°C	-40 - 60°C	-20 - 60°C
Çevrim Ömrü	200-300	1500	300-500	>2000	-	500-1000
Şarj Verimi %	79	-	-	-	-	100
Enerji Verimi %	70	60-90	75	80	60	80
Gerilim Verimi %	-	-	-	-	82	-
Aşırı Yüklenme Toleransı	Yüksek	Orta	Düşük	Yüksek	Orta	Çok düşük
Self-deşarj	Düşük	Orta	Yüksek	Düşük	Yüksek	Çok düşük
Isıl Kararlılık	Az Kararlı	Az Kararlı	Az Kararlı	Az Kararlı	Kararlı	Çok kararlı

Tablo 2.1 İkincil Bataryaların Karşılaştırılması[26]

2.1.3 Batarya Yönetim Sistemi Topolojileri

Batarya yönetim sistemi, batarya ile gerekli yük arasında meydana gelen tüm aktiviteleri düzenleyen bir sistemdir. Gerçekleştirdiği faaliyetler, aşırı şarj ve aşırı kullanım, kısa devre vb. gibi çeşitli türlerde tehlikelerden pil hücrelerinin korunmasıdır. Pilin aşırı şarj edilmesi veya yüksek akımlarda deşarj olması aşırı ısınmaya neden olabilir ve hatta bir patlamaya veya aleve neden olabilir. Bu nedenle Batarya yönetim sistemi, güvenlik ve pil gücünü artırmada önemli bir rol oynar.



Şekil 2. 2: Batarya Yönetim Sisteminin Faaliyetleri

Batarya yönetim sisteminin faaliyetleri, şekilde de görüldüğü gibi ölçüm, koruma, dengeleme ve haberleşme işlevlerine sahiptir. Batarya yönetim sistemleri kullanılacak sisteme göre birçok farklı tercih edilebilecek topolojik yapıda geliştirilebilirler. Genel olarak en çok kullanılan topolojileri üç ana başlık altında incelenebilir.

Bunlar;

- Merkezi tip batarya yönetim sistemi
- Modüler tip batarya yönetim sistemi
- Ayrılmış tip batarya yönetim sistemi

Bu topolojilerin genel anlamda karşılaştırılması yapılacak olursa, hangisinin daha verimli olduğuna karar vermek mantıklı bir karşılaştırma olmayacaktır. Çünkü her topolojinin, uygulama alanına göre farklı avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Bundan dolayı, doğru seçim için uygulama tipine, batarya paketinin boyutuna ve bütçe kısıtları göz önünde alınmalıdır.

2.1.3.1 Merkezi Topoloji Batarya Yönetim Sistemleri

Bu topoloji, diğer topolojilere kıyasla en basit topoloji olarak değerlendirilebilir. Her hücreden alınmış bağlantı kabloları ölçüm ve dengeleme için tek bir BYS kartına bağlanmaktadır. Bataryada bulunan seri bağlı hücrelerin her birinin “+” kutbuna bağlantı kablosu yerleştirilir ve bataryanın “-” kutbu da eklenerek, n adet hücrenin bulunduğu bir sistemde n+1 adet ölçüm kablosu gerekecektir. Hücre sayısı fazla olan sistemlerde, kablo sayısı da fazla olacağından dolayı bu topolojide “Spaghetti Problemi” denilen bir problem ortaya çıkmaktadır. Bundan dolayı, bu topoloji hücre sayısının fazla olduğu durumlarda pek tercih edilmemektedir. Düzenlemeler yaparak kablo karmaşasından kurtulmak mümkün olabilir fakat yine de büyük batarya paketlerinde merkezi topolojiyi uygulamak oldukça zor olacaktır.



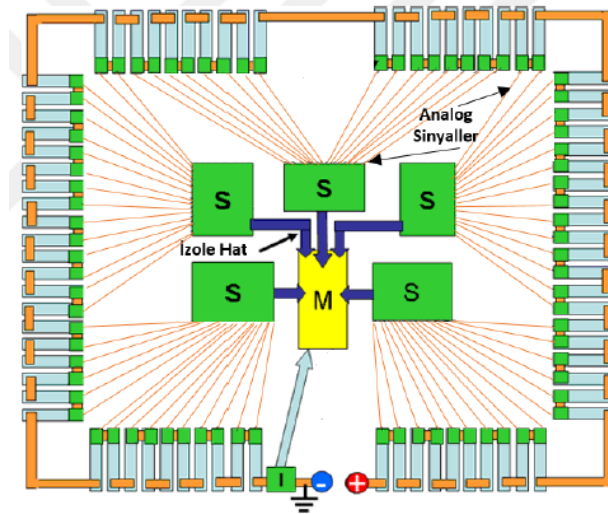
Şekil 2. 3: Merkezi Topoloji Batarya Yönetim Sistemi[26]

Topolojinin avantajları;

- Tek bir devre kartından oluştuğu için ekonomiktir.
- Bakım ve onarımı kolaydır.
- Yapısı basit ve verilerde bozulma yaşamadan direkt karta iletilmektedir.

2.1.3.2 Modüler Topoloji Batarya Yönetim Sistemleri

Modüler batarya yönetim sistemlerinde seri bağlı her hücre grubu için bir yardımcı modül bulunmaktadır. Tüm yardımcı modüller ölçüm sonuçlarını haberleşme protokolüne göre ana modüle iletmektedir. Ana modül sistemin koruma ve dengeleme fonksiyonlarına karar vererek her yardımcı modülle ayrıca iletişim kurup koordinasyonu sağlamaktadır.

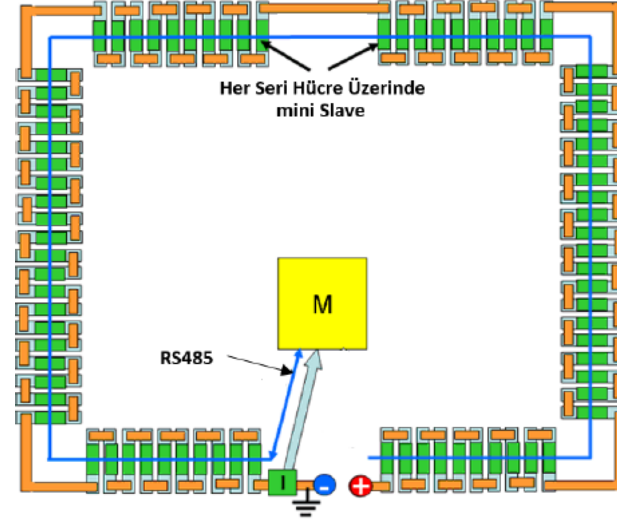


Şekil 2. 4: Modüler Topoloji Batarya Yönetim Sistemi[26]

Yardımcı modüllerin kontrolünü yapan harici bir ana modül kullanılacağı gibi, yardımcı modüllerden birisine de yetki verilerek ana kontrolcü haline getirilebilir. Bu noktada dikkat edilmesi gereken en önemli konu BYS 'nin donanımı ve tasarımı sırasında yardımcı modüllerin ölçüm, kontrol, veri kaydı ve dış dünya ile iletişimi gibi bazı fonksiyonları yerine getirebilecek yapıda tasarımlarının gerçekleştirilmesidir.

2.1.3.3 Dağıtılmış Topoloji Batarya Yönetim Sistemleri

Mimari olarak modüler tip ile birçok ortak özelliği bulunmaktadır fakat modüler sistemin aksine, her hücre grubu için bir yardımcı modül yerine her bir hücre için bir yardımcı modül kullanılır.



Şekil 2. 5: Dağıtılmış Topoloji Batarya Yönetim Sistemi[26]

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

Özellikle bataryada seri hücre sayısının fazla olduğu bir uygulamada dağıtılmış tip BYS topolojisi en kolay yöntemdir. Tüm bu avantajların yanında dezavantaj olarak, hücre sayısının fazla olduğu yüksek gerilimli bataryalarda yüzlerce yardımcı modüle ihtiyaç duyulacaktır. Bu durum sistemin maliyetlerini oldukça arttıracaktır. Buna bağlı olarak montaj ve paketleme problemlerini ortaya çıkacaktır.

BYS Türleri	Ölçüm Kalitesi	Gürültü	Güvenlik	Malzeme Maliyeti	Montaj Maliyeti	Bakım Maliyeti
Merkezi	2	3	1	1	2	1
Modüler	2	3	1	3	2	1
Dağıtılmış	3	2	3	3	1	2

Tablo 2.2: Batarya yönetim sistemi topolojilerinin karşılaştırılması[26]

2.1.4 Ölçme

Batarya yönetim sistemleri, birçok çeşitli ölçüm yapmaktadır. Yapılan ölçümler aşağıdakilerden ibarettir.

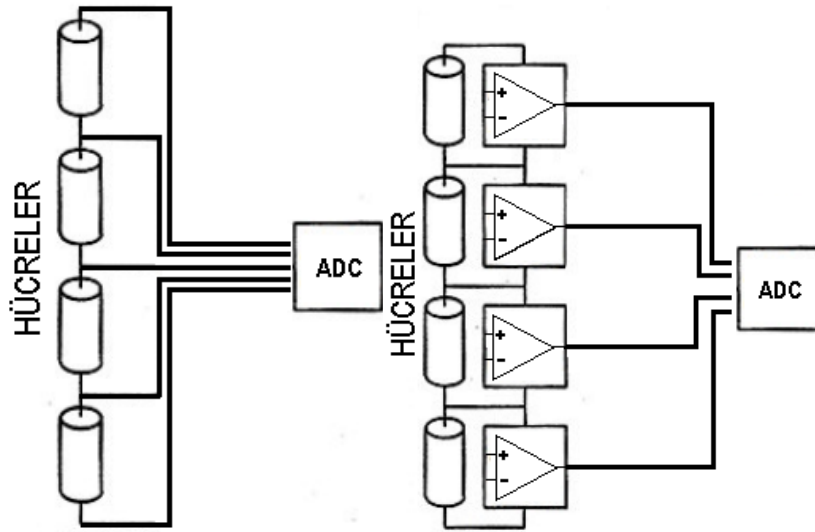
- Hücrelerin Gerilimleri
- Hücrelerin Sıcaklıkları
- Bataryanın Şarj/Deşarj Akımı

2.1.4.1 Batarya Gerilimlerini Ölçülmesi

Batarya yönetim sistemi, seri bağlanmış tüm hücrelerin gerilimlerinin her birini ferdi olarak ölçmelidir. Toplam batarya gerilimi ölçülmüş hücre gerilim değerlerinin toplamı şeklinde ölçülebileceği gibi farklı bir ölçüm devresi ile de ölçülebilir.

Hücre gerilimlerinin ölçümünde en çok kullanılan iki farklı yöntem bulunmaktadır. Birinci yöntem, hücrelerin bağlı olduğu pozitif uçlar ile bataryanın eksi ucu arasındaki gerilim farkının gerilim bölücü dirençler vasıtası ile düşürülüp analog dijital çeviricilerin okuyabileceği değere getirilerek ölçüm yapılan hücre sayısının toplam gerilim değeri elde edilir. Daha sonra ölçülen bu değerden, bir önceki ölçülen toplam hücre gerilimi değeri çıkartılarak hücre gerilim elde edilmiş olur.[7]

İkinci yöntem ise, hücrenin artı ve eksi kutuplarında bulun gerilim değerlerinin analog elektronik devre kartları yardımı ile gerilim farklarının alınarak analog dijital dönüştürücünün okuyabileceği gerilim seviyesine getirip ölçümü gerçekleştirmiş olur.



Şekil 2. 6: Batarya Gerilimlerini Ölçme Yöntemleri

2.1.4.2 Batarya Sıcaklıklarını Ölçülmesi

Sıcaklık değişimi bataryalar üzerinde büyük değişikliklere sebep olmaktadır. Bu yüzden sıcaklık ölçümü batarya yönetim sistemlerinden önemli bir role sahiptir. Batarya hücrelerin sıcaklığını ölçmek, bataryanın koruması ve hücrelerin şarj durumunun belirlenmesi için çok önemli değişkendir.

Lityum tabanlı pillerde sıcaklık değerinin kontrol edilemediği uygulamalarda nominal sıcaklıklarının dışına çıkıldığında şarj ve deşarj işleminin gerçekleşmesi oldukça tehlike arz etmektedir. [7]

Hücrelerde bulunan piller, oluşan problemlerden dolayı şarj ve deşarj işlemlerinde, diğer pillere göre daha yüksek sıcaklığa sahip olabileceklerinden dolayı anormal sıcaklık artışlarında bozulan veya bozulmaya yakın hücrelerin ortaya çıkarılmasında önemli rol oynamaktadır.[7]

Sıcaklık ölçümü için kullanılan çeşitli termistörler ve analog çıkışlı entegreler olmak üzere iki farklı ölçüm şekli bulunmaktadır. Ölçüm teknikleri de kendi arasında ikiye ayrılmaktadır. Birinci teknik, bataryadaki her pilin üzerine yerleştirilen sensörlerdir. Bu teknikle birlikte daha doğru veriler elde edilerek daha verimli sonuçlar elde edilecektir. İkinci teknik ise, her pilin sıcaklık ölçümünü sağlayabilecek ölçüm girişine sahip olmayan sistemlerde, sıcaklık sensörleri hücrenin stratejik noktalarına yerleştirilerek hücrenin sıcaklık değerinin daha doğru bir sonuç elde etmesini sağlamaktadır.



Şekil 2. 7: NTC direnci

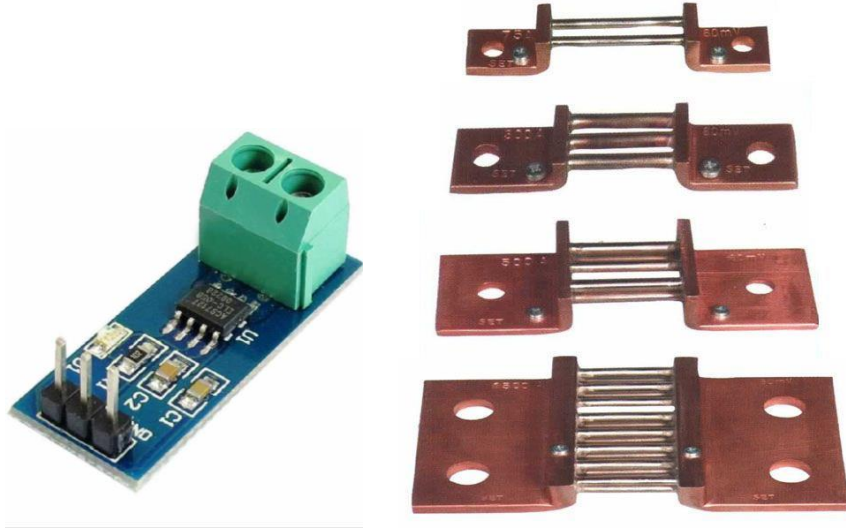
2.1.4.3 Bataryaların Şarj ve Deşarj Akımını Ölçülmesi

Batarya akımının ölçümü, batarya ve hücreler hakkında birçok bilgiye sahip olmamıza olanak sağlar ve bu sayede daha verimli bir batarya yönetim sistemi ortaya çıkar. Batarya akımının ölçülmesinin faydaları şu şekilde açıklanabilir;[7]

- Yüksek şarj ve deşarj akımları bataryanın kimyasında bozulmalara, batarya ömrünün azalmasına ve sağlık durumunun düşmesine sebep olabilir. Bundan dolayı yüksek akım değerlerinde bataryaları korumaya alabilir.
- Sürekli olarak anlık akım değeri gözlemlenebilir.
- Anlık akım değeri ile birlikte bataryanın iç direnci hesaplanabilir.
- İç direnci hesaplanan bataryanın şarj ve deşarj akımı ayarlanarak bataryanın termal yönetimi daha kolay hale gelebilir.
- Belirli bir periyotta kaydedilen akım verisi ve kaydedilen veriler arasındaki zaman aralığı ile bataryanın zamana bağlı integral hesabı şarj ve deşarj durumunun belirlenmesinde büyük rol oynar.

Temel olarak en çok kullanılan akım ölçüm metotları şönt direnci ve analog çıkış veren akım sensörleridir. Şönt direncinin akım ölçme yöntemi, şönt direnci çok küçük değerler sahiptir. Üzerinden geçecek akımı çok az seviyede etkilemektedir. Şönt direnci uçlarındaki gerilim değerinin ölçümü yapılarak OHM kanunu yardımıyla gerilim ve direnç değerinin bilinmesiyle akım değerine ulaşılmaktadır. [7]

Diğer bir yöntem olan akım sensörleri ile akım değerinin ölçülmesi daha farklı bir çalışma prensibine sahiptir. Çalışma prensibi, içerisinden geçen akımın manyetik etkisinin sonucuyla orantılı olarak bir çıkış akım değeri vermektedir. Ancak bu sensörlerde dezavantaj olarak sıcaklığın değişimi ile ölçüm değerinde farklılıklar gözlenmektedir. Bundan dolayı sensör seçiminde sıcaklık etkisi önemli bir faktörlerden biridir.



Şekil 2. 8: Akım ölçümü için kullanılan sensor ve şönt direnci

2.1.5 Koruma

Batarya yönetim sistemlerinin en önemli görevlerinden biri bataryanın güvenli çalışma bölgesi içerisinde olup olmadığını kontrol etmesidir. Yaşanabilecek herhangi bir tehlikede şarj veya deşarjı kesmeli, akım sınırlaması yapabilmelidir.

2.1.5.1 Aşırı Akım Koruması

Bataryadaki şarj deşarj akımını izleyerek, sistemdeki tüm hücrelerin karakteristik özelliğine göre güvenli bir çalışma bölgesinde olup olmadığı izlenmelidir.

Bazı gereken durumlarda bataryanın en yüksek şarj ve deşarj akımının üzerine çıkılmasına izin verilebilir. Bu özellik, batarya üreticisi tarafından pillerin bilgi kağıdında belirtilmiştir. Batarya yönetim sistemi bu aralıklar çerçevesinde koruma işlevini sürdürebilir. Örneğin; elektrikli bir araçta, elektrik motorunun ilk kalkış anında ihtiyaç duyduğu akım değeri yüksek olacağından dolayı batarya yönetim sisteminin en yüksek deşarj akımı değerini aşabilir. Pillerin bilgi kağıdında izin verilen süre kadar bu akımın akmasına izin verilebilir. [7]

2.1.5.2 Gerilim Koruması

Hücre gerilimlerinin kontrol edilmesi, hücrelerin maksimum ve minimum limitlerini aşıp aşmadığını kontrolü için gereklidir. Deşarj esnasında hücrelerden birinin minimum gerilim altına düşme olasılığı yaşandığında deşarj akımı sınırlanarak yüksek gerilim düşümlerinin önüne geçilebilir. Şarj esnasında hücrenin maksimum

geriliminin üstüne çıkıldığı durumlarda şarjı hemen kesebilir veya şarj akımını azaltarak hücrenin bozulmasını engelleyecek şekilde şarj edebilir.

Hücrelerin sıcaklıklarının kontrolü, hücrelerin en verimli şekilde şarj ve deşarj edilmesi için önemli bir parametredir. Sıcaklık parametresi ile hücrelerin doluluk oranının kestirimi daha da netliğe kavuşmaktadır. [7]

2.1.5.3 Sıcaklık Koruması

Lityum iyon pillerin en iyi verimli deşarj sıcaklıkları -20°C ile 60°C iken en iyi verimli şarj sıcaklıkları 10°C ile 45°C 'tır. Geniş bir termal çalışma alanına sahiptirler. Ancak özel durumlarda kullanımı tercih edilmez.

Termal yönetim soğutma ve ısıtma olarak iki farklı şekilde gerçekleşir. Batarya sıcaklığının azalması, sıcaklığın artmasından daha çok karşılaştığımız bir durumdur. Çünkü batarya şarj veya deşarj anında belli bir oranda ısınmaktadır. Yüksek sıcaklıkları düşürmek için kullanılacak yöntemlerden biri de fan kullanarak hava yolu ile soğutmak olacaktır. Ancak hava sıcaklığı batarya sıcaklığına yakın bir yerleşimde çalıştığı durumda bataryayı soğutmak yerine daha çok ısıtabilir. Bundan dolayı farklı soğutma sistemleri kullanılır.

Soğuk iklim bölgelerinde, bataryanın ısıtılması söz konusu olabilir. Bu yüzden bataryanın sıcaklığının artırılması gerekebilir. Pasif dengeleme sistemlerinde, dengeleme dirençleri dengeleme işlemini gerçekleştirirken ısındıkları için ortam sıcaklığını arttırmada kullanılabilmektedir.[7]

2.1.5.4 Dengeleme:

Fabrikadan çıkan her batarya aynı seriden olsa bile tam olarak eşit parametrelere sahip değildir. Aslında her bataryanın kendine has birer karakteristiği vardır. Bu özellikler bataryalar kullanıldıkça daha da farklılaşmaktadır. Bundan dolayı bataryaların gerilimleri şarj ve deşarj esnasında genellikle farklı olmaktadır. Pil hücrelerini dengelemek, batarya yönetim sisteminin ana görevlerinden biridir. Dengeleme işleminin amacı, batarya hücrelerindeki tüm pillerin şarj işlemi sonunda eşit gerilime veya SOC değerine sahip olmasını sağlamaktır. Hücre gerilimleri pil için belirtilen azami gerilimi aştığında veya herhangi iki hücre için belirlenmiş gerilim farkı aşıldığında dengeleme işlemi gerekli olur.

2.1.6 Batarya Hücrelerini Dengeleme Yöntemleri

Batarya hücrelerinin dengelemesi için birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler iki ana başlık altında toplanmaktadır. Bunlar pasif dengeleme ve aktif dengeleme yöntemleridir. Bu iki başlığın altında da birçok başlık bulunmaktadır. Tüm yöntemler bir şablonda Şekil 1.1'de verilmiştir. [8].

2.1.6.1 Pasif Dengeleme

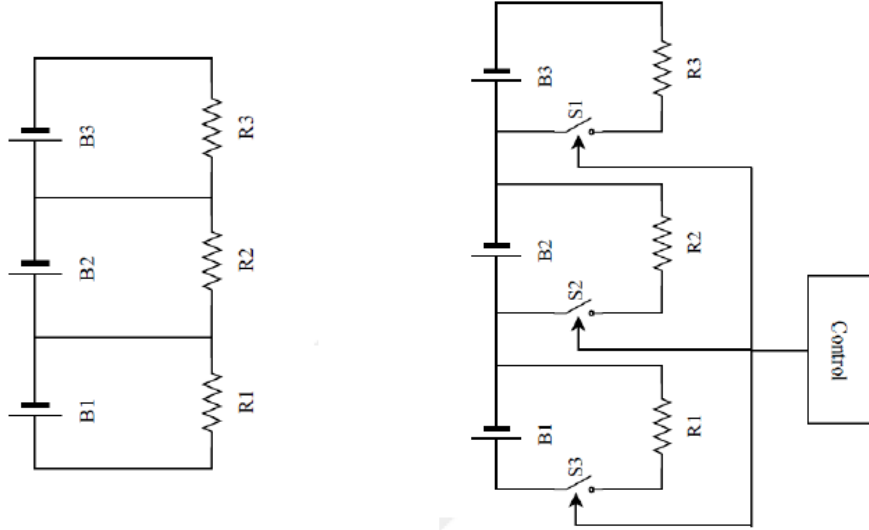
Pil hücrelerinin pasif olarak dengelenmesi basit ve uygulanması kolay bir yöntemdir. Kısaca yöntemin algoritmasından bahsedecek olursak; Pasif dengeleme devresi, batarya hücrelerinin en düşük gerilim seviyesini tespit eder ve diğer batarya hücrelerinin gerilim seviyelerini, paralel bağlanmış dirençlerin aktif olması ile birlikte referans aldıkları gerilim seviyesine düşürür.

Direnç tabanlı dengeleme yöntemleri, pasif dengeleme yöntemi başlığı altında sınıflandırılır. Bu yöntem, yüksek gerilime sahip hücresinden fazla enerjinin dirençler üzerindeki ısı vasıtasıyla uzaklaştırılmasıdır. Böylece en yüksek gerilim seviyesine sahip hücrenin şarj seviyesi, daha düşük gerilim seviyesine sahip hücre ile aynı seviyeye gelmiş olur. Direnç tabanlı dengelem yöntemleri iki farklı kategoriye ayrılırlar.

İlk yöntem sabit şönt direnci yöntemidir. Bu yöntem, fazla enerji harcamak için sabit şönt direnç kullanmaktır [10]. Bu yöntemde akım, bypass yöntemi ile tüm hücreler için sürekli olarak kullanılır. Devredeki direnç, hücre voltajını sınırlamak ve ayarlamak için kullanılır. Bu dengelem tekniği sadece kurşun-asit ve nikel bazlı bataryalar için kullanılabilir. Çünkü bu tür piller aşırı şarj koşullarına dayanıklıdır [11]. Bu yöntemin temel avantajı, dengeleme devresinin basitliği ve düşük maliyetli olmasıdır. Ancak dezavantajı, dengeleme işlemi sırasında enerjinin tüm hücrelerde ısı olarak dağıtılmasından kaynaklanan enerji kayıplarının olmasıdır.

İkinci yöntem anahtarlamalı şönt direnç yöntemidir. [12] Sabit şönt direnci yönteminden farkı her bir hücrenin şönt direncine bağlı bir anahtardır. Temelde çalışma prensibi kullanılan anahtarın kontrol edilmesine dayanarak dengelenme işleminin yapılmasıdır. Sensörler vasıtası ile hücreler arasında gerilim dengesizliği tespit edildiğinde, kontrolör hangi direncin etkinleştirilmesi gerektiğine karar vererek

dengelem işlemi sağlanır. Bu yöntem daha etkili, basit, güvenilirdir ve sabit direnç yöntemine kıyasla Li-iyon piller için kullanılabilir. Bu yöntemin dezavantajı fazla enerjinin ısı olarak kaybedilmesidir. Dolayısıyla bu dengeleme yöntemi pilin çalışma süresini azaltabilir. Direnç tabanlı hücre dengeleme yöntemlerinin devre şemaları sırasıyla Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



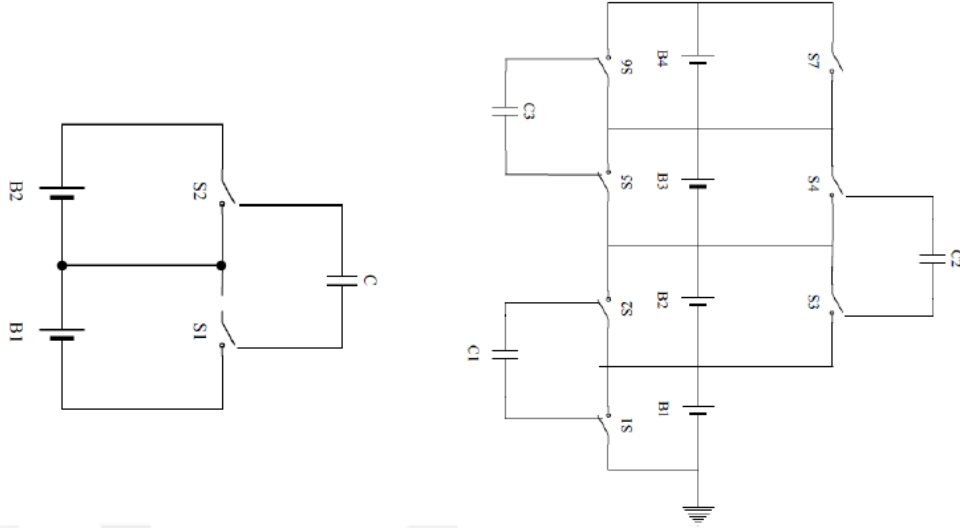
Şekil 2. 9: Pasif Dengeleme Yöntemleri Devre Şemaları[6]

2.1.6.2 Aktif Dengeleme

Pil hücrelerini dengelemenin bir başka yöntemi de aktif dengeleme yöntemidir. Aktif dengeleme devresi, akü hücrelerinin voltaj seviyelerine göre voltaj transferi gerçekleştirerek akü hücrelerini ortalama seviyede dengeler. Böylece pasif dengelemede harcanan enerji, aktif terazideki diğer pil hücrelerine aktarılır ve daha verimli dengeleme sağlanır.

2.1.6.2.1 Kondansatör Tabanlı Dengeleme Yöntemleri

Batarya hücrelerinin gerilim değerlerinin kapasitif elemanlar kullanılarak dengelenmesi yöntemidir. Yüksek enerjili pil hücresindeki fazla enerji önce kondansatöre aktarılır ve bu enerji daha düşük enerji değerine sahip başka bir hücreye yönlendirilir. Bu yöntemde fazla enerjinin depolaması için kondansatörler kullanılır. Basit kondansatör tabanlı dengeleme yönteminin devre şeması Şekil 2.10 'da gösterilmektedir. Bu sayede yöntemin çalışma mantığı anlaşılmış olur. Daha karmaşık yapılarda daha fazla hücrenin dengelenmesi gerektiğinden böyle durumlar için devre şeması olarak Şekil 1.4'teki topoloji örnek olarak gösterilebilir.



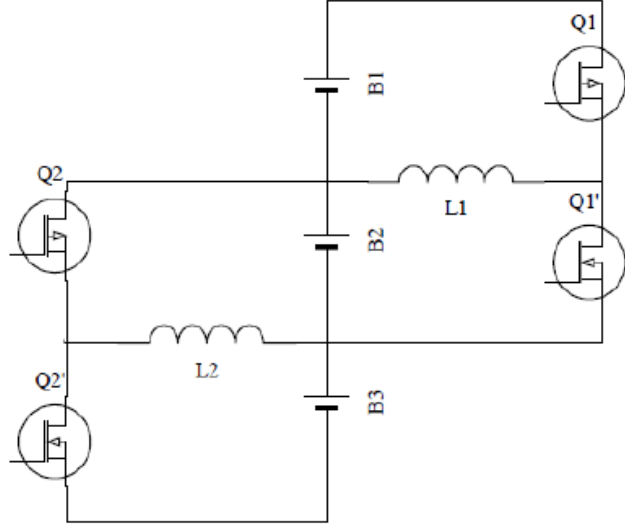
Şekil 2. 10: Kondansatör Tabanlı Aktif Dengeleme Yöntemlerinin Devre Şemaları[6]

Birden fazla seri bağlı akü hücrelerine bağlanan kondansatörler sayesinde şarj bir hücreden diğerine kolaylıkla aktarılabilir. Her hücre, kondansatörü yanındaki hücre ile paylaşır. Şarj, seri bağlı akü hücrelerindeki kondansatörler ile hücre dizisinin bir ucundan diğerine kolaylıkla aktarılabilir. Her hücre, kondansatörü yanındaki hücre ile paylaşır. Bu topolojide enerjinin yüksek hücreden fazla enerjiye sahip hücrenin karşı tarafındaki alçak hücreye ve düşük enerjili hücreye aktarılması çok zaman alır. Çünkü enerjinin her hücreden geçmesi gerekecek. Ayrıca bu durum, zaman ve verimlilik açısından bir dezavantaj yaratacaktır. Bu nedenle verimli bir sonuç elde edilemez. Kondansatörlerde, şarj sırasında enerji kayıpları yüzde 50'ye kadar çıkabilir. Anahtarlama amacıyla kullanılacak aktif elemanların ısınmasından kaynaklanan kayıplar da vardır. Bu kayıplar sistemin verimliliği açısından dikkate alınmalıdır. Ancak bu süreçte aktarılan enerjide herhangi bir kayıp söz konusu değildir. Akü hücrelerinin enerjisi sadece kullanımından dolayı azalır. Bu yöntemde kompanzasyon oranı hücrelerin voltaj farkları ile orantılıdır. Hücrelerin tam şarj olma sürecinde veya tam boşalma aşamasında etkilidir.

2.1.6.2.2 Bobin Tabanlı Dengeleme Yöntemleri

Bobin tabanlı dengeleme yöntemleri, enerji depolama elemanları olarak bobinleri ve enerji dönüşüm elemanları olarak transformatörleri kullanırlar. Bu elemanlar, pil hücreleri arasında bir hücrenin diğer bir hücreye enerjisini aktarması için kullanılır [14-15]. Pilleri dengeleme süresi diğer yöntemlere göre daha kısadır. Bu yöntemin dezavantajı, transformatörlerin yüksek maliyetli olmasıdır. Bobin tabanlı hücre

dengeleme yöntemi için devre şeması Şekil 1.4'te gösterilmektedir. Devredeki bobinler, hücrelerdeki fazla enerjiyi depolar. Kontrol sistemi gerilim değerlerine göre iki hücre seçer ve bu fazla enerjiyi bu hücrelere aktarır.



Şekil 2. 11: Babin Tabanlı Aktif Dengeleme Yönteminin Devre Şeması[6]

Transformatör tabanlı yöntemler, bobin tabanlı yöntemler gibi batarya dengeleme sistemlerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde enerji depolama ve gerilim dönüştürme olarak trafo tabanlı sistemler kullanılmaktadır [15-16]. Transformatör tabanlı dengeleme yöntemlerinde kullanılan esasen iki yöntem vardır. Birincisi batarya paketinden düşük enerjili hücrelere mantığı ile çalışan sistemdir. İkincisi, yüksek enerjili hücreden düşük enerjili hücreye yöntemidir. İlk yöntemde enerji, anahtarlama transformatör aracılığıyla zayıf akü hücrelerine aktarılır. Bu enerji, anahtarlama elemanları kontrol edilerek pil hücrelerine aktarılır. İkinci teknikte fazla enerji, yüksek enerjili hücreden düşük enerjili hücreye transformatör aracılığıyla aktarılır. Batarya paketinden hücreye kadar çalışma prensibine dayanan birinci yönteme göre devre şeması Şekil 2.11'de gösterilmektedir.

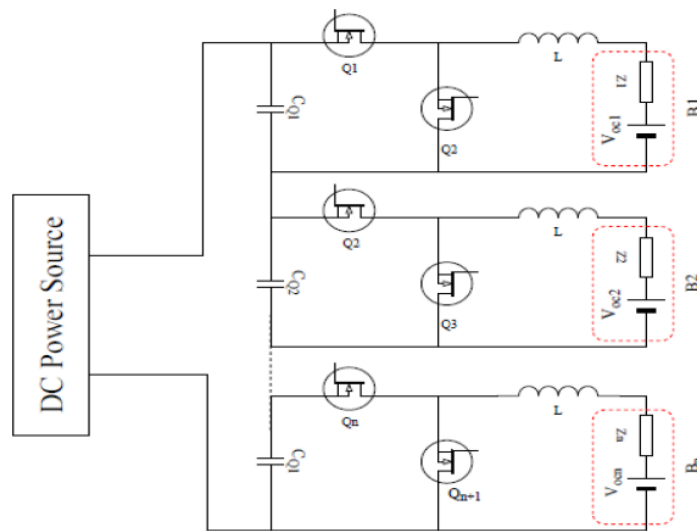
2.1.6.2.3 Dönüştürücü Tabanlı Dengeleme Yöntemleri

Batarya dengeleme kontrol sistemlerinde dönüştürücü tabanlı farklı devre topolojileri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde fazla enerji, dönüştürücüler vasıtasıyla bir hücreden diğerine aktarılır. Gerilim dönüştürücü, iki pil hücresi arasında enerji transferini gerçekleştirir. Gerilim dönüştürücülerinin farklı devre topolojileri ve özellikleri vardır. Hücre dengelemesi için kullanılan enerji dönüştürücüler ve genellikle bu sistemler

Buck, Boost, Flyback, Cuk, Ramp, tam köprü ve Quasi-Resonant tipi dönüştürücülerdir [17-19]. Bu tip dönüştürücüler dengeleme işleminde sürekli olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemin dezavantajı, sistemin yüksek maliyeti olması ve karmaşık oluşudur.

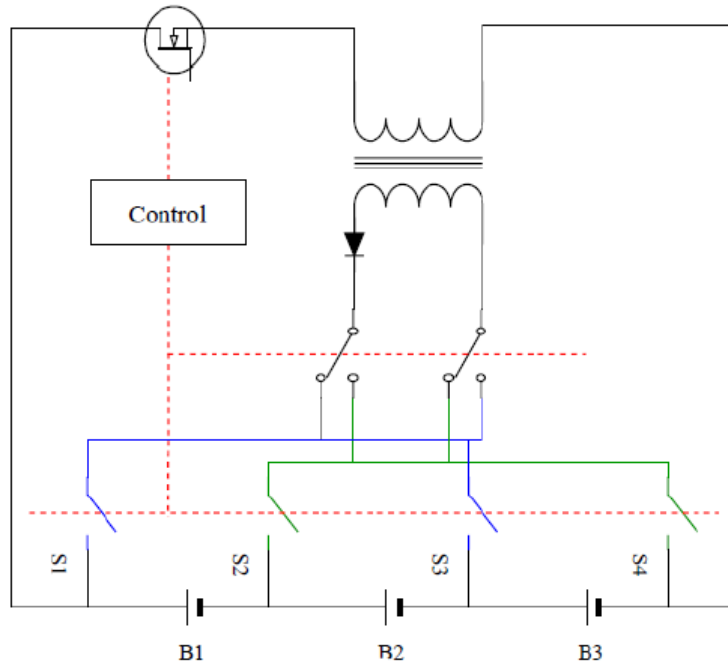
Şekil 1.6'da Cuk dönüştürücü tabanlı bir pil dengeleme devresi topolojisi gösterilmektedir. Ayrıca bu devre topolojisi, bireysel devre dengeleyici olarak adlandırılabilir. Bu sistem, her iki komşu pil hücresini stabilize etmek için kullanılabilir. Her devrenin bobini, iki anahtarı ve bir kondansatörü vardır. Dönüştürücü, enerjiyi iki bitişik hücre arasında aktarır. Bu nedenle pil hücresi, büyük pil paketleri için çok uzun bir şarj ve stabilizasyon süresine sahip olacaktır [17,18].

Yükseltici/Alçaltıcı Çevirici Tabanlı Dengeleme Yöntemi: Buck, Boost ve Buck-Boost tipi enerji dönüştürücüler yaygın olarak kullanılan devre topolojileridir [9]. Bu devreler, pil dengeleme sistemlerinde de yaygın olarak kullanılabilir [20-21]. Her devre topolojisinin dengeleme sistemlerinde kendine özgü kullanımı vardır. Boost tipi dönüştürücü, hücredeki fazla enerjiyi tüm pakete aktarmak için kullanılır. Buck-boost dönüştürücü, fazla enerjiyi hücreden en fazla enerjiye sahip DC hattına ve en zayıf hücreye aktarmak için kullanılır. Doğru ve hassas kontrol sürecini gerçekleştirmek için pil dengeleme sistemleri, hücrelerin gerilimlerini doğru bir şekilde tespit etmek için gereklidir. Dönüştürücü tabanlı sistemler pahalı ve karmaşıktır, ancak aynı zamanda kompakt bir tasarım için de uygundur.



Şekil 2. 12: Cuk Tabanlı Dengeleme Yöntemi Devre Şeması[6]

Flyback Çevirici Tabanlı Dengeleme Yöntemi: Flyback dönüştürücülerin en önemli özelliklerinden biri yapısal olarak transformatör kullanıldığından yalıtılmış olmalarıdır. Bu nedenle, her iki tarafı da izole etme kabiliyetine sahiptirler. Bu özellikler sayesinde tek veya çift yönlü olarak kullanılabilirler [16]. Bu devre topolojisi Şekil 2.13'de gösterilmektedir. Çeviricinin çift yönlü olarak çalışması durumunda, anahtarlama elemanı açıldığında fazla enerji transformatörde depolanır ve anahtarlama elemanı kapatıldığında bu fazla enerji pakete aktarılır. Tek yönlü Flyback dönüştürücü, çift yönlü olandan daha esnek ve enerji aktarımı açısından daha kullanışlıdır. Çift yönlü dönüştürücü, enerjiyi bataryadan hücreye de aktarabilir. Bu sistemin dezavantajı tasarım ve uygulamadaki zorluktur. Flyback dönüştürücü iyi tasarlanmalı ve sargılar uygun şekilde sarılmalıdır. Düzgün bir şekilde yapılmaz ise, manyetik kayıplar nedeniyle dengeleme devresi sistemi istenildiği gibi çalışmayabilir [16].



Şekil 2. 13: Fly-Back Çevirici Tabanlı Dengeleme Yöntemi Devre Şeması[6]

2.1.7 Hesaplama

Bataryalar, şarj ve deşarj durumlarında veya bekleme durumunda parametreleri sürekli değişiklik gösteren bir yapıdır. Verilerin hesaplanmasında bataryanın durumuna göre şarj, deşarj ve bekleme için ayrı ayrı hesaplamalar gereklidir.

SOC ve SOH tahmini

SOC tahmini batarya durumunun görüntülenmesinde çok önemli bir adımdır. Literatürde, pillerin SOC tahmini için birçok yöntem önerilmiştir [20]. Aslında üç ana yöntem türü tanımlanmıştır: elektrokimyasal yöntemler, elektriksel yöntemler ve uyarlanabilir yöntemler. Elektrokimyasal yöntemlerin, yüksek doğruluklarına rağmen, pilin kimyasal yapısına erişim ihtiyacı nedeniyle ne yazılımda ne de donanım çözümünde uygulanmasının zor olduğu düşünülmektedir [21]. Uyarlanabilir yöntemler, eşdeğer bir model ve sinir ağı, Kalman filtresi, bulanık mantık algoritması ve durum gözlemcileri [22] gibi bir çözümleme algoritması gerektirir. Dolayısıyla bu yöntemlerin doğruluğu pil modelinin verimliliğine bağlıdır. Ayrıca zorlukları bakımından ciddi bir uzmanlık gerektirmektedirler. Önceki yöntemlerden farklı olarak, elektriksel yöntemler yalnızca terminal voltajı, akım ve iç direnç gibi ölçümlerle elde edilen parametreleri gerektirir. Bu elektrik yöntemleri arasında, uygulanabilirlik olarak Coulomb sayma, uygulama basitliği ve düşük sistem gereksinimlerine sahip olması nedeniyle en yaygın kullanılan yöntemlerdendir.

Diğer basit bir yöntem de OCV yöntemidir. Bu yöntemde kullanılacak bataryanın OCV-SOC eğrisi bir simülasyon programı veya deneysel bir düzenek ile elde edilir. Daha sonra bu eğriye bir batarya gerilimine bağlı bir denklem uydurulur. Elde edilen denklem vasıtasıyla SOC OCV değerlerine bağlı olarak tahmin edilebilir.

Bu çalışmada SOC tahmini Coulomb sayma yöntemi ile yapılmıştır. Bu yöntemde SOC değerinin bilinen ilk değeri ile pil akımının zamanla entegre edilmiş hali toplanır.

Yük miktarı değişimi ΔQ aşağıda gösterildiği gibi bir periyottaki şarj ve deşarj bat akımının integral alınmasıyla bulunur.

$$\Delta Q = \int_{\tau}^{t+\tau} I_{bat} dt$$

Bu değişim negatif ise batarya deşarjda pozitif ise şarjdadır.

Coulomb yük sayacı aşağıda gösterildiği gibi τ periyotta kazanılan yük olarak ifade edilmiştir.

$$Q(t + \tau) = Q(t) + \Delta Q$$

Dolayısıyla bir periyotta kazanılan SOC;

$$\Delta SOC(t + \tau) = \frac{Q(t + \tau)}{Q_{top}} * 100$$

Önceki çevrimden bulunan SOC değeri toplanarak anlık SOC değeri yaklaşık olarak aşağıdaki gibi olur.

$$SOC(t + \tau) = SOC(t) + \Delta SOC(t + \tau)$$

Batarya gerilimi limit voltajına düştüğünde SOC değeri %0 kabul edilir. Aynı şekilde Bataryanın SOC değerinin %100 olması için batarya geriliminin üst limit değeri olan 4.2 V 'a ulaşması gerekir. Batarya gerilimi sınır değerlere ulaştığında SOC yeniden kalibre edilmelidir.

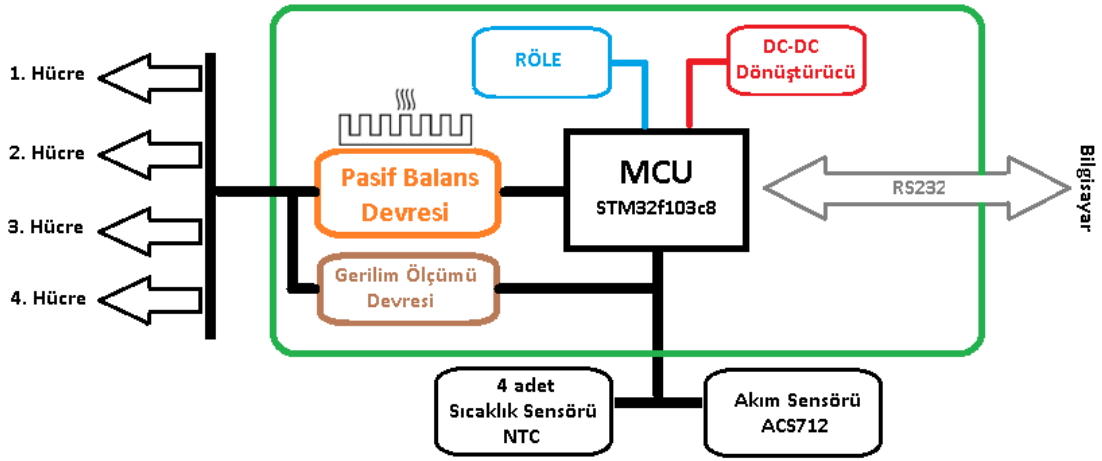
Batarya üst sınır değerine ulaşmış olduğunda sahip olduğu yük miktarının Q_{rated} 'a olan oranına bataryanın sağlık durumu SOH aşağıda ifade edilmiştir.

$$SOH = \frac{Q_{max}}{Q_{rated}} * 100$$

Ayrıca Bir Li-İyon batarya farklı sıcaklıklarda farklı SOC değerleri alır. Şarj durumu tahmininde doğruluğu artırmak için SOC farklı sıcaklıklarda farklı katsayılarla çarpılmalıdır.

2.2 Tasarım

Daha önceki bölümlerde enerji bataryaların tanımı ile endüstriyel anlamda kullanıma uygun bir batarya yönetim sisteminin topolojileri tanıtılmış ve BYS' nin gerçekleştireceği faaliyetlerin bölümleri açıklanmıştır. Bu bölümde, araştırmaları tamamlanan batarya yönetim sisteminin tasarımı hakkında daha detaylı bilgiler verilecektir. Aşağıdaki şekilde dijital batarya yönetim sisteminin tasarımında kullanılacak topoloji, mikroişlemci, DC-DC çevirici, batarya dengeleme, ölçüm ve haberleşme bloklarından oluşan bir diyagram gösterilmiştir. Sistemin alt birimleri aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.



Şekil 2. 14: Tasarlanan BYS nin blok şeması

2.2.1 Mikro denetleyici

Tasarımda batarya yönetim sisteminde ölçüm kontrol ve yönetim bölümlerinin işlemlerini ve fonksiyonlarını düzgün bir şekilde çalışmasını sağlayan kısım mikro denetleyici bloğudur. Ölçümler için ihtiyaç olan minimum 6 adet ADC ve 11 adet dijital çıkış verebilen 2 adet zamanlayıcısı olan bir mikro denetleyiciye ihtiyaç vardır. İsteklerimizi karşılaması ve maliyet açısından bakıldığında Arduino UNO seçmemiz daha iyi bir seçim olacaktır.

(PCINT14/RESET)	PC6	Pin1	1	28	Pin28 PCS (ADCS/SCL/PCINT13)
(PCINT16/RXD)	PD0	Pin2	2	27	Pin27 PD4 (ADC4/SDA/PCINT12)
(PCINT17/TXD)	PD1	Pin3	3	26	Pin26 PD3 (ADC3/PCINT11)
(PCINT18/INT0)	PD2	Pin4	4	25	Pin25 pc2 (ADC2/PCINT10)
(PCINT19/OC2B/INT1)	PD3	Pin5	5	24	Pin24 PC1 (ADC1/PCINTS)
	PD4	Pin6	6	23	Pin23 PC0 (ADCO/PCINT8)
	Vcc	Pin7	7	22	Pin22 GND
	GND	Pin8	8	21	Pin21 AREF
(PCINT6/XTAL1/TOSC1)	PB6	Pin9	9	20	Pin20 AVCC
(PCINT7/XTAL2/TOSC2)	PB7	Pin10	10	19	Pin19 PBS (SCK/PCINTS)
(PCINT21/OC0B/T1)	PD5	Pin11	11	18	Pin18 PB4 (MISO/PCINT4)
(PCINT22/OC0A/AIN0)	PD6	Pin12	12	17	Pin17 PB3 (MOSI/OC2A/PCINT3)
(PCINT23/AIN1)	PD7	Pin13	13	16	Pin16 PB2 (SS/OC1B/PCINT2)
(PCINT0/CLKO/ICP1)	PB0	Pin14	14	15	Pin15 PB1 (OC1A/PCINT1)

Şekil 2. 15: AtMEGA328p Mikro Denetleyicisinin Pin Çıkışları

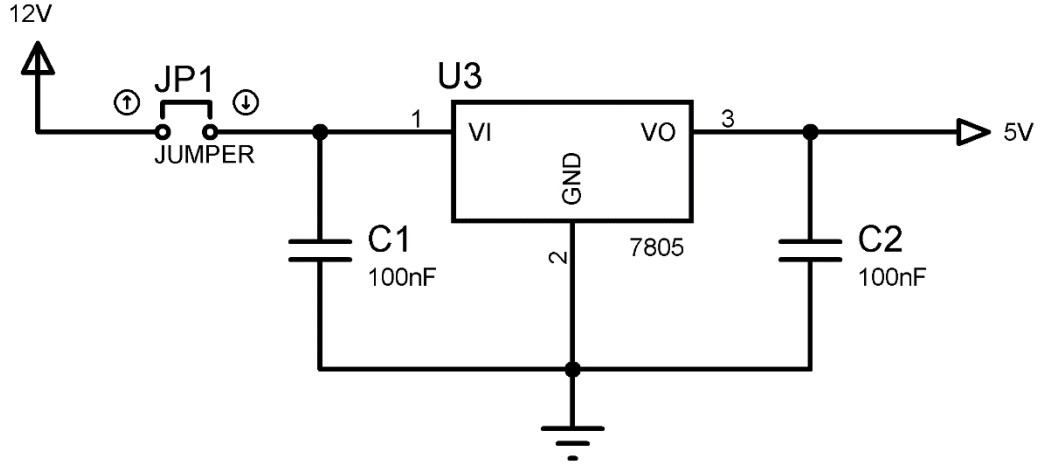
2.2.2 DC-DC Gerilim Dönüştürücü

Devredeki komponentlerin kullanım ihtiyaçları göz önünde bulundurularak tasarımı gerçekleştirilen batarya yönetim sisteminde besleme gerilimi olarak 12V doğru akım kullanılmaktadır. Devre üzerindeki elektronik cihazlar 3.3V ile 5V olmak üzere farklı

giriş gerilimlerine göre çalışmaktadır. Bundan dolayı besleme gerilimi olan 12V DC, öncelikle 5V'a daha sonra da 3.3V a çevrilerek kullanılmaktadır.

Tasarımda 12V'un 5V a dönüştürülmesinde ST firmasının 7805 DC-DC çevirici entegresi kullanılmıştır [26]. Bu entegreyi kullanmamızdaki asıl amacımız; kısa devre ve yüksek sıcaklığa erişildiğinde kapatma gibi korumaları sahip olmasıdır. Ayrıca düşük dalgalanmaya sahip çıkış gerilimi ve gürültü özelliğiyle öne çıkmaktadır.

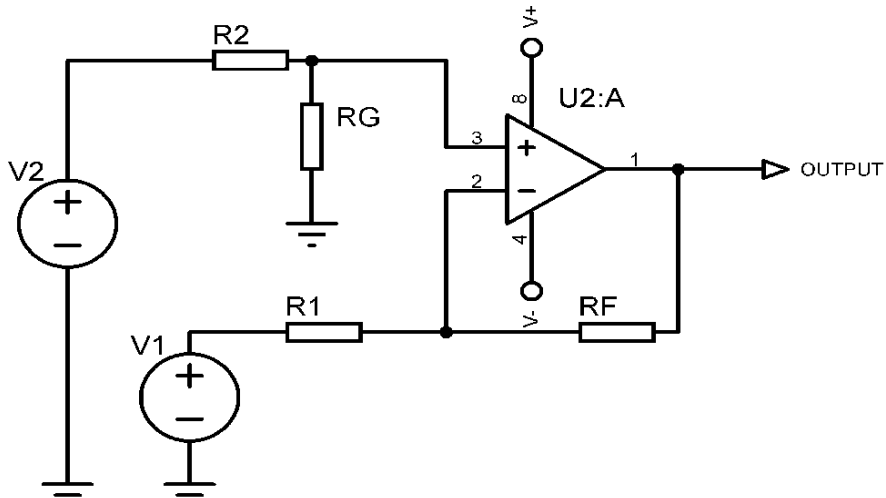
3.3V gerilim mikro denetleyici üzerindeki regülatör üzerinden karşılanacaktır.



Şekil 2. 16: Lm7805 dc Voltaj Regulatorünün Devresi

2.2.3 Gerilim Ölçme Devresi

Tasarımda bataryadaki hücrelerin gerilim değerlerinin ölçümünde daha doğru bir sonuç elde etmek ve hücrelerin mikro denetleyiciden izole olması için Op-Amp entegresi kullanılarak gerilim fark kuvvetlendirici devresi kullanılmıştır.



Şekil 2. 17: Fark Alıcı Op-Amp Devre Şeması

BYS kartımızda gerilim ölçümü için kullanılan devre şekilde gösterilmiştir. Devrenin matematiksel hesaplamaları aşağıdaki şekildedir.

$$V_{out} = \frac{(R_f + R_1)R_g}{(R_g + R_2)R_1} * V_2 - \frac{R_f}{R_1} V_1$$

Devre denklemini işlemlerinde kolaylaşması için bir kabul yardımıyla basitleştirelim.

$$R_1 = R_2; R_g = R_f$$

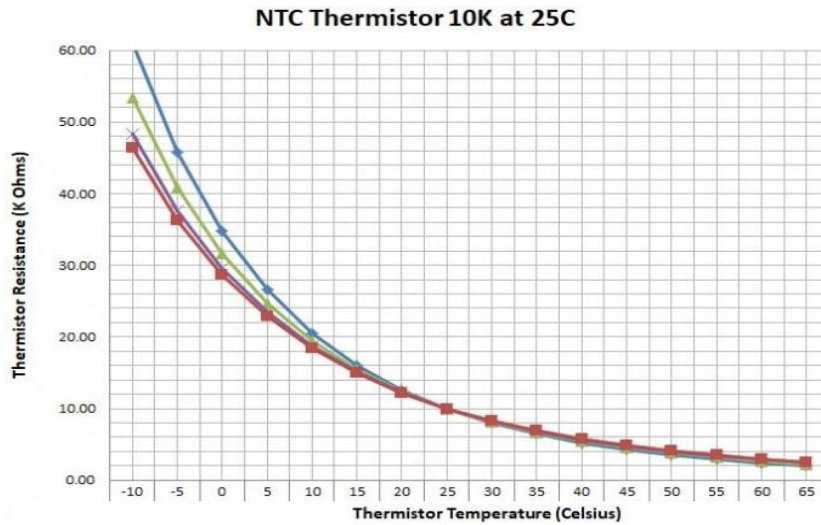
$$V_{out} = \frac{R_f}{R_1} * (V_2 - V_1)$$

Hesaplamalarda dirençlerin tolerans değerlerinden dolayı ölçüm değerinde farklılıklar yaşanabilir. Doğru bir direnç ölçümü yapılarak yazılımsal olarak bu sorun ortadan kaldırılabilir.

2.2.4 Sıcaklık Ölçme Devresi

Tasarımda bataryanın ve her bir hücrenin sıcaklığını bir termistör çeşidi olan NTC kullanılarak sıcaklık değerine ulaşılmıştır.

NTC, negative thermocouple kelimelerinin kısaltmasından oluşur. Sıcaklığa bağlı olarak değeri değişen bir dirençtir. Sıcaklık yükseldikçe direnci azalır; bu sayede sensör gibi çalışmış olur.



Şekil 2. 18: NTC Sıcaklık-Direnç Eğrisi

NTC 'nin sıcaklığa göre direnç değeri doğrusal olmayan bir değişime sahiptir. Direnç değerinin sıcaklığa göre değişimi şekildeki grafikte gösterilmiştir. Sıcaklık ölçümü yapılırken doğrusal olmayan bu grafiğin denkleminde yararlanılarak sıcaklık tahmini gerçekleştirilir.

Sıcaklık değişimine oranla direnç değerinin hesaplanması bu denklem ile elde edilir.

$$R_{th}(T) = R_0 \cdot e^{\left(B \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right)}$$

Denklemden değişiklikler yapılarak sıcaklık verisine aşağıdaki denklemden ulaşılabilir.

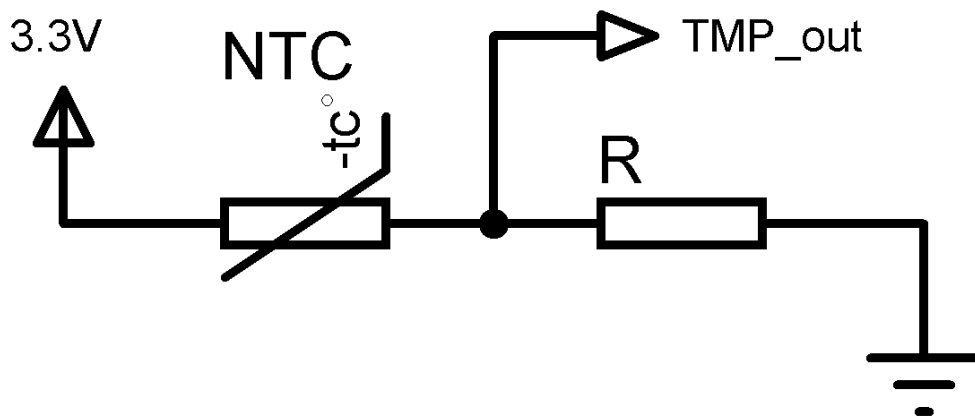
$$T = \frac{T_0 \cdot B}{T_0 \cdot \ln\left(\frac{R_{th}}{R_0}\right) + B}$$

Denklemin daha kolay hesaplanabilmesi için aşağıdaki denklem elde edilmiştir.

$$T = \frac{B}{\ln\left(\frac{R_{th}}{R_0 \cdot e^{\frac{-B}{T_0}}}\right)}$$

B, bilgi kağıdından bakılabilecek malzemeye özgü sabit bir değerdir. R0, NTC 'nin 25 santigrat derecedeki direnç değeridir. T0, 25 santigrat derece değerinin Kelvin değeridir. Rth NTC 'nin anlık sıcaklık değeridir.

Devre şeması şekilde gösterildiği şekildedir. NTC ile beraber gerilim bölücü devresinin kullanılması ile sıcaklık ölçümü gerçekleştirilecektir. NTC ile seri bağlanacak direnç değerinin aynı olması hesaplama açısından kolaylık sağlayacaktır.



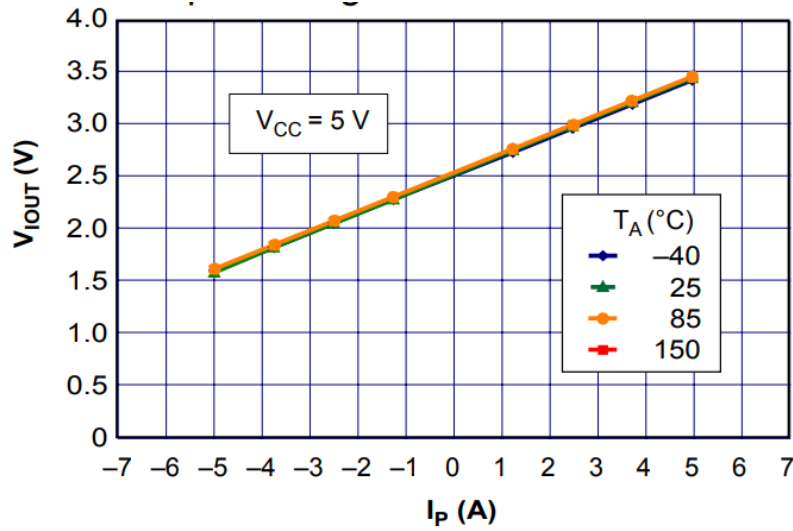
Şekil 2. 19: NTC nin Bağlantı Devre Şeması

2.2.5 Akım Okuma

Akım sensörünün çalışma prensibi, üzerinden geçen akımın manyetik alanından faydalanılarak analog gerilim çıkışı sağlamaktadır. Analog değerinin bilgi kağıdı üzerinden alınan verilere göre hesaplamalar yapılarak akım değerine ulaşılmaktadır.

Şekil 3.10’da verilen akım sensörünün karakteristiğinde, sensör üzerinden geçen akım değerine göre verdiği analog gerilim çıkışının grafiği yer almaktadır. Kullanılan akım sensörü ideal koşulda, akım sıfır değerinde iken 2.5 V çıkış gerilimi vermektedir. Sensörün çıkış gerilimi bağlantı şekline bağlı olarak, akımın yönüne göre değişiklik göstermektedir. Akımda meydana gelen her 1 A’lık değişimde algılayıcı çıkış gerilimi 66 mV değişmektedir.

Sensörün çıkış geriliminin akım değerine dönüştürülmesi için yapılması gereken işlemler aşağıdaki şekildedir.



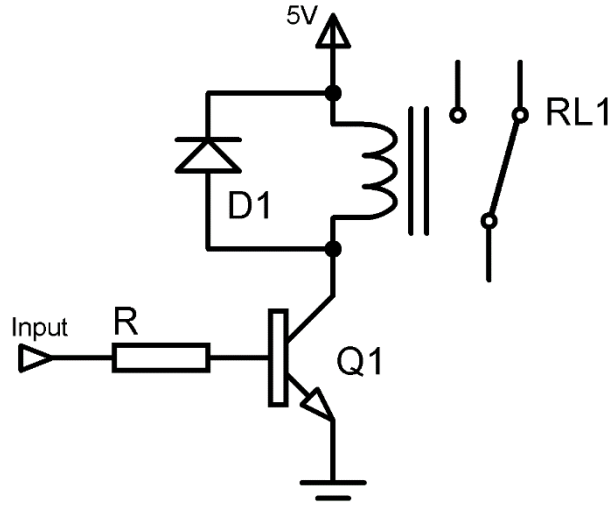
Şekil 2. 20: ACS712-5A Sensörünün Akım-Gerilim Grafiği

$$V_{out} = \frac{3.3}{4096} * adc$$
$$akım = \frac{adcgerilim - 2.5}{0.066}$$

Burada okunan akım değerinin işareti bataryaların şarj veya deşarj durumunu göstermektedir.

2.2.6 Röle Kontrol Devresi

Batarya yönetim Sistemi şarj ve deşarj işlemlerini durdurup başlatabilmelidir. Şekil 2.21’ de batarya yönetim sistemi şarj rölesi sürme devresi görülmektedir.



Şekil 2. 21: Röle Kontrol Devre Şeması

Şarj işlemi sırasında, batarya hücrelerinin gerilim değeri şarj üst gerilim sınırına ulaşırsa veya batarya hücreleri için balans işlemi gerekiyorsa, şarj işlemi sonlandırılmalıdır. Şekil 2.21’ de gösterilen devre ile ilgili pin mikro denetleyicinin giriş-çıkış bacaklarından birine bağlanarak şarj rölesi mikro denetleyici tarafından kontrol edilmektedir.

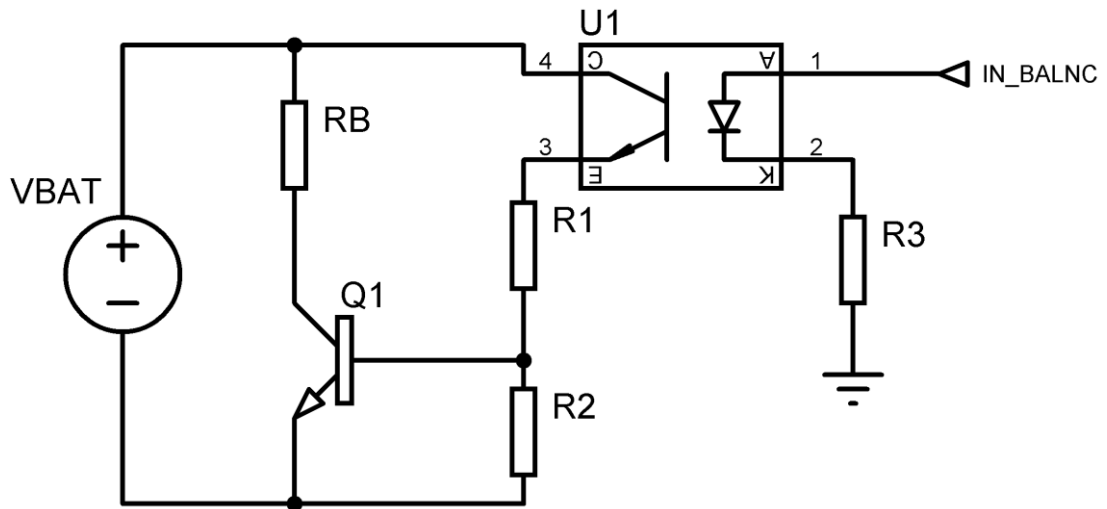
2.2.7 Gerilim Dengeleme Devresi

Batarya hücrelerinden toplanan gerilim verileri değerlendirilerek gerilimi fazla olan batarya hücreleri dengelenmekte kullanılacaktır. Tasarımda bataryadaki hücrelerin dengelenmesi için pasif dengeleme yöntemi kullanılmıştır. Pasif dengeleme yöntemi çeşitlerinden ise anahtarlamalı direnç yöntemi seçilmiştir. Pasif dengeleme sadece şarj işlemi sırasında gerçekleşir. Akım sensörü kullanılarak çalışma sırasında devrenin şarj ya da deşarj durumunda olduğu bilinmekte ve bataryalardan geçen akımın yönü sensör yardımıyla tespit edilmektedir.

Bataryaların boşalma durumunda olduğu belirlendiğinde BYS’nin batarya hücrelerini dengeleme yapması engellenmekte ve yükün sağlıklı bir şekilde çalışması sağlanır. Pilller şarj durumuna geçtiğinde dengeleme işlemi yapılabilir.

Dengeleme iki durumda gerekli görülmüştür. Birincisi bataryalardan en az bir tanesi batarya için belirlenen azami gerilime ulaştığında diğeri ise rastgele iki pil arasındaki gerilim farkının belirlenen bir değerden fazla olduğu durumun oluştuğundadır.

Pasif dengeleme devresi basitçe fazla enerjinin bir direnç üzerinde harcanmasıdır. Bunun için bir darlington çifti transistor anahtarlama modunda kullanılır. BYS tarafından dengeleme işlemi gerekli olduğu bilgisi oluştuğunda ilgili bataryanın dengeleme devresini kontrol edecek olan dijital çıkış MCU'dan oluşturulur. Bu sinyal, transistorun gate bacağına uygulandığında transistor on durumuna geçer ve ilgili bataryanın “+” kutbu, şönt direnci, transistor ve işbu bataryanın “-” kutbu arasında bir akım yolu oluşmuş olur. Şönt direnci üzerinden, dengeleme devresinin ve bataryanın özellikleri nispetinde akım akar. BYS tarafından ilgili batarya hücresi için dengeleme işlemi durdurulana kadar şönt direnci üzerinden enerji dönüşümü sağlanır.



Şekil 2.22: Gerilim dengeleme devresinin şeması

BÖLÜM 3. UYGULAMA ÇALIŞMALARI

Bu bölümde çalışmada gerçekleştirilmesi hedeflenen karmaşık bir sistem, süreç, cihaz, ürün veya uygulama (algoritma, ara yüz, veya donanım) açıklanmalı, deneysel çalışmalar ve tasarlanan uygulamaya ilişkin alt bileşenlere ait blok diyagramı mutlaka verilmelidir.

3.1 Uygulamada Kullanılan Araç ve Gereçler

Uygulamada ilk tedarik ettirilen malzeme 18650 ICR Li-iyon piller olmuştur. Li-iyon pillerin şarj ve deşarj testleri gerçekleştirilmesinin ardından tasarımı gerçekleştirilen devrelerin komponentlerinin tedariki gerçekleşmiştir. Tasarımı gerçekleştirilen dengeleme ve gerilim ölçüm elektronik kartları EasyEda programı kullanılarak PCB dizaynı gerçekleştirildi. Ardından PCB çizimleri bakır plaket üzerine çıkartılarak baskı devre oluşturuldu. Daha sonra sistemin kontrolü için akım sensörü ve röle kartı satın alındı.

Uygulamada dengelemesi gerçekleşecek piller silindirik yapıya sahip 18650 ICR Li-iyon pillerdir. 18650 kodu silindirik hücrenin dış ölçülerinin belirtmektedir. 18 mm çapa ve 65 mm boya sahip bu hücreler bu şekilde adlandırılmaktadır. ICR kodu pilin kimyasal yapısını belirtmektedir. Kobalt elementinin elektron alıcısı olarak lityum elementi karşısına yerleştirilmesiyle oluşan pil türüdür. Aşağıdaki şekilde pillerin fotoğrafı gösterilmektedir.



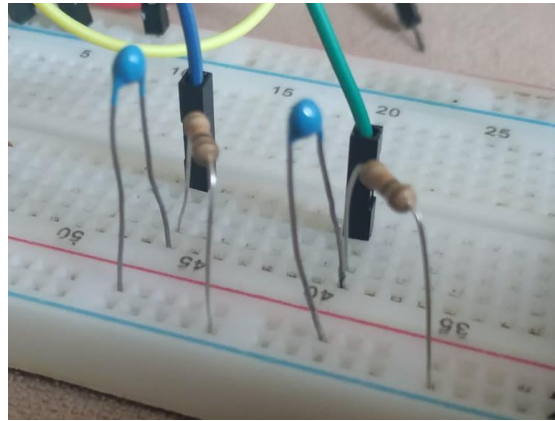
Şekil 3. 1: ICR 18650 2500mAh Li-İyon Piller

Pillerin güvenli ve düzenli bir şekilde bağlantılarının gerçekleştirilmesi için 18650 ölçülerine uyacak pil yuvası kullanılmıştır. Sistemde 3 adet pil kullanılmaktadır. Ancak pil yuvası standart ölçülere göre üretildiği için 4'lü olarak satın alınmıştır. Pil yuvasının fotoğrafı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



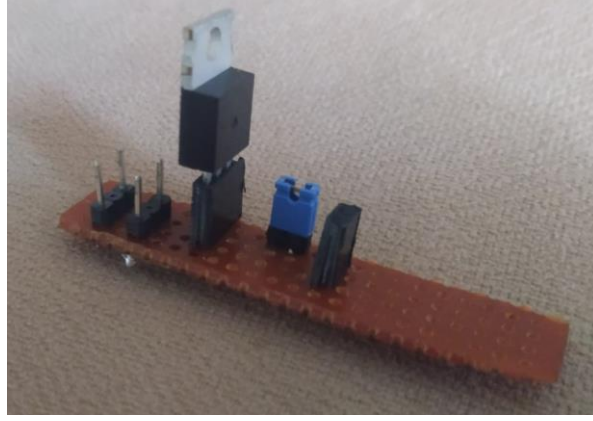
Şekil 3. 2: 18650 Pil Yuvası

Hücre sıcaklıklarının ölçümü için sıcaklığa bağlı değişiklik gösteren NTC dirençleri kullanılmıştır. Direnç değerleri 10 K ohm'dur. Direncin sıcaklığa göre değişimi üstel bir fonksiyon şeklinde değişmektedir. NTC dış ortamdaki sıcaklıktan en az etkilenecek şekilde termal macun sürülerek piller üzerine bant ile yerleştirilmiştir. Aşağıdaki şekilde NTC'lerin fotoğrafı yer almaktadır.



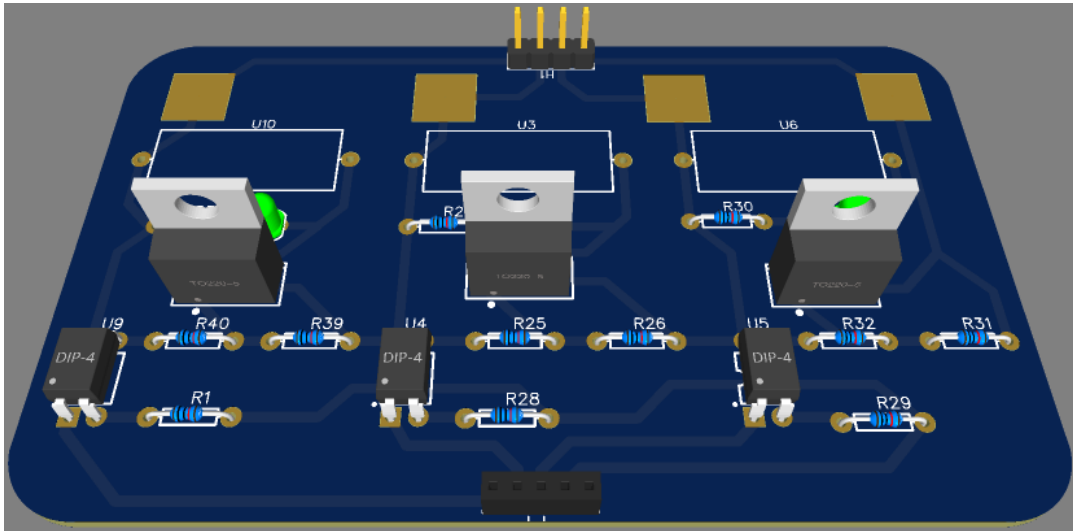
Şekil 3. 3: NTC sensörü devresi

Tasarımı gerçekleştirilen devre kartlarının ve sensörlerin ihtiyacını karşılaması için 12 volt gerilimi 5 volt gerilim seviyesine düşüren LM7805 lineer voltaj regülatörü entegresi kullanılmıştır. Entegre kısa devre gibi tehlikelere yol açmaması için delikli plakete lehimlenmiştir. Aşağıdaki şekilde fotoğrafı gösterilmiştir



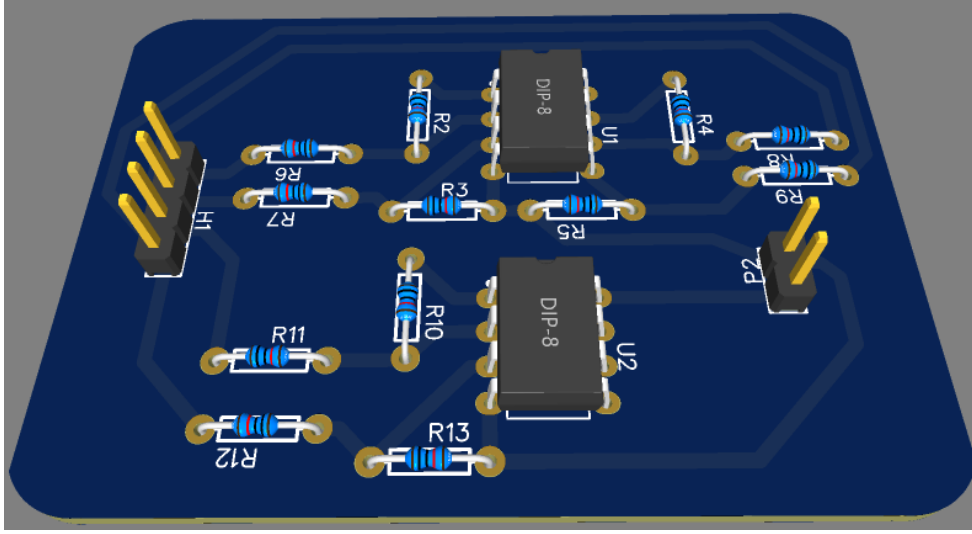
Şekil 3. 4: LM7805 Devresi

Pillerin bozunması veya değiştirilmesi pillerde büyük gerilim değişikliklerine sebep olmaktadır. Piller arasında gerilim farkının minimuma indirgenebilmesi için dengeleme devresi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Devrenin topolojisi 2. Bölümde anlatılmıştır. Transistör olarak darlington çifti olan TIP122 seçilmiştir. Darlington çifti özelliğine sahip olduğu için çok düşük bir akım değeri ile tetiklenebilmeleridir. Tetiklemelerin mikro denetleyiciden izole edilmesi için devrede optokuplör kullanılmıştır. Optokuplör düşük bir emitter-kollektör gerilimine sahip olduğundan PC817 modeli seçilmiştir. Devre hızlı dengelem işlemini gerçekleştirmesi için düşük değerli bir direnç tercih edilmesi karar verilmiştir. Direnç üzerinde harcanan enerji 1.25W olduğu için 5W taş direnç kullanılmıştır. Taş direnç oldukça fazla yer kaplamaktadır. Taş direnç yerine daha düşük güç değerlerine dayanabilecek dirençler kullanılabilir. Devrenin fotoğrafı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



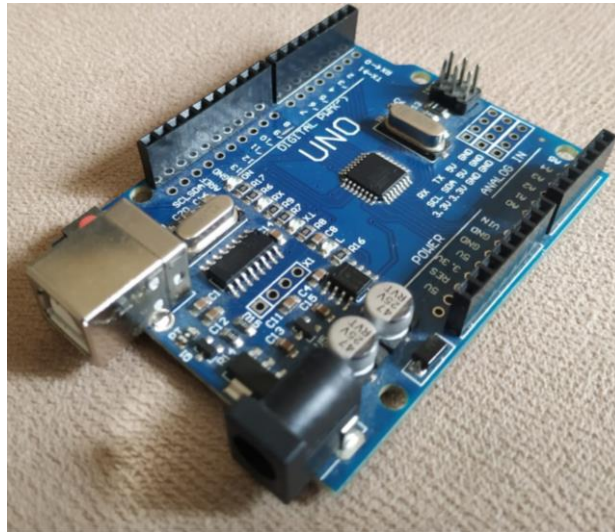
Şekil 3. 5: Dengelem Devresinin 3B Görüntüsü

Hücreler birbirlerine seri bir şekilde bağlandıkları için gerilim ölçümü analog dijital dönüştürücülerin referans gerilimlerinin çok üstünde kaldıklarından ölçüm doğrudan gerçekleşmemektedir. Bu yüzden hem mikro denetleyiciden pillerin izole edilmesi hem de doğru bir sonuç elde etmek için OP-Amp kullanarak bir devre tasarımı gerçekleştirilmiştir. LM358 kodlu içerisinde 2 adet Op-Amp bulunan entegreler kullanılmaya karar verildi. LM358 doğru akım devrelerinde fark kuvvetlendirici olarak sıklıkla kullanıldığından dolayı seçme kararı alınmıştır. Aşağıdaki şekilde devrenin fotoğrafı gösterilmiştir.



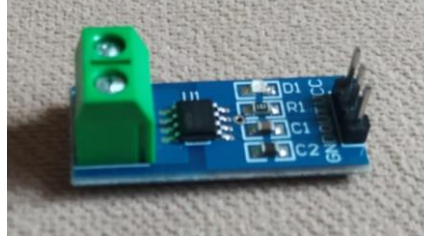
Şekil 3. 6: Fark Alıcı Op-Amp Devresinin 3B Görüntüsü

Sistemin kontrolü için Arduino Uno kullanılmıştır. Analog dijital dönüştürücü referans geriliminin 5V olması avantaj sağlamıştır.



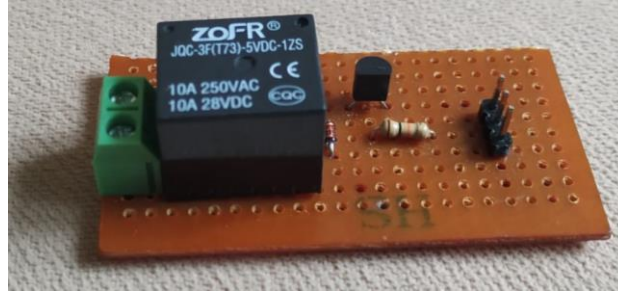
Şekil 3. 7: Arduino Uno Geliştirme Kartı

Sistemin hem aşırı akımdan korunması ve ayrıca bataryanın doluluk oranının hesaplanmasında büyük önemi olan akım değerinin ölçülmesi için ACS712 akım sensörü kullanılmıştır. Ölçüm yapılırken daha hassas değerler elde edilmesi için 5A'lık model seçilmiştir. 5A'lık modelin hassasiyeti 185 mV/A 'dır. Şekilde fotoğrafı gösterilmiştir.



Şekil 3. 8: ACS712-5A Akım Sensörü

Sistemde oluşabilecek herhangi bir tehlikenin bataryaya veya bataryaya bağlı yüke zarar vermemesi için bataryanın uçlarına normalde kapalı (NO) durumunda bir röle kartı yerleştirilmiştir. Röle 5V ile tetiklenmekte ve 10A akım değerine kadar dayanmaktadır. Şekilde röle kartının fotoğrafı gösterilmiştir.



Şekil 3. 9: 5V Röle Kartı

Sistemin işleyişi ve sensörlerden gelecek verilerin bir arayüz üzerinde görüntülenmesi için ekrana ihtiyaç duyulmuştur. Bundan dolayı 16x2 LCD ekran kullanılmıştır. Aşağıda fotoğrafı gösterilmiştir.

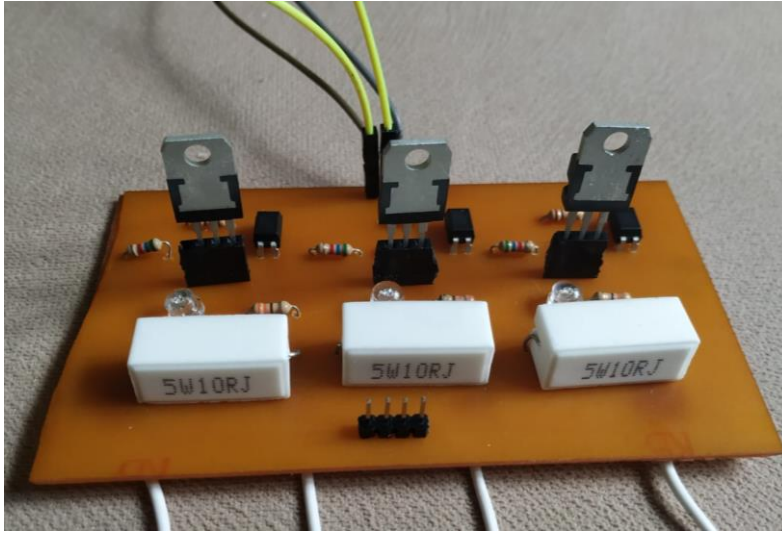


Şekil 3. 10: 2x16 LCD ekran

Bu uygulamada sıcaklık anlamında yüksek hassasiyetli sıcaklık ölçümüne ihtiyaç duyulmadığından dolayı sıcaklık değerinin ölçümü için sıcaklığa bağlı değişkenlik gösteren NTC dirençleri kullanılmıştır. NTC ile sıcaklık ölçümü, üzerinde oluşan gerilim değerinin 2. Bölümde bahsedilen üstel fonksiyonun hesaplanması ile ölçümü gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık ölçüm cihazı ile karşılaştırılma yapılarak yazılımsal olarak hata payları minimum değere indirilmiştir.

Hücrelerin dengelenmesi için oluşturulmuş pasif dengeleme devresinde darlington çifti transistör kullanılmıştır. Darlington çifti transistörler düşük tetikleme akımları ile yüksek akım kazancı sağlayan elemanlardır. Transistörün kutuplanması için baz bölücülü kutuplama devresi kullanılmıştır. Devrenin mikro denetleyiciden izole olması için optokuplör kullanılmıştır. Devrenin testi breadboard üzerinde test edildikten sonra EasyEda PCB çizim ortamında çizimi gerçekleştirilmiştir.

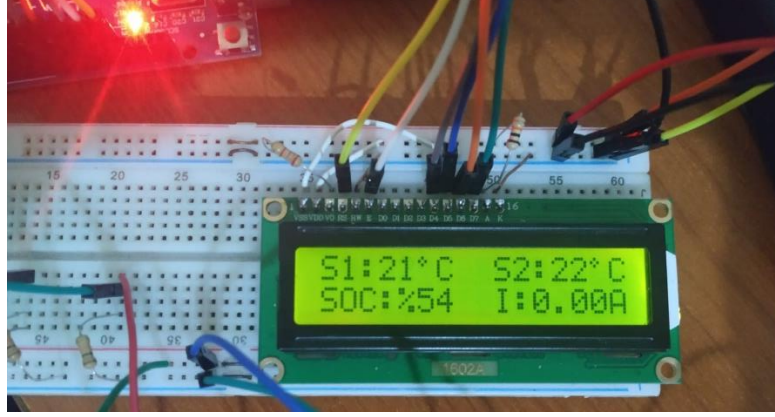
PCB çizimi gerçekleştirilen devrelerin gerber çıktıları lazer yazıcıdan kuşe kağıdına baskı alınarak bakır plaket üzerine aktarılmış ve baskı devreler ortaya çıkartılmıştır. Yolların kontrolü tamamlandıktan sonra komponentler lehimlenmiştir. Lehimleme işlemi bitirilen kartların testi gerçekleştirilmiş ve hiçbir sorun yaşanmamıştır.



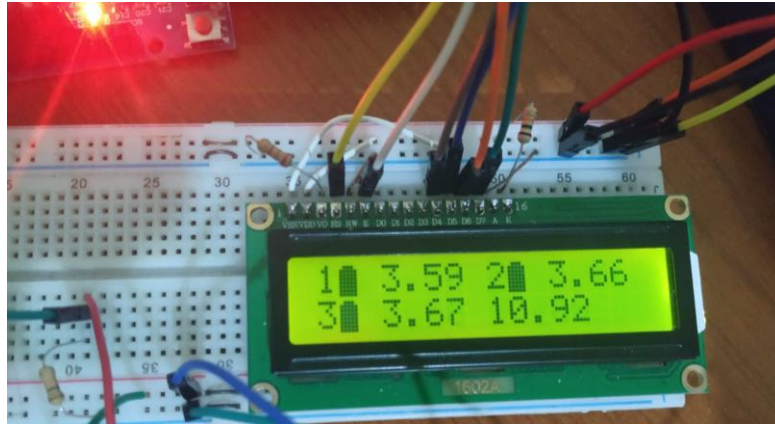
Şekil 3. 13: Gerilim Dengeleme Kartı

Bataryanın şarj ve deşarj anında oluşabilecek herhangi bir sorun oluştuğunda yük ile bağlantısının kesilmesi için röle kartı hazırlanmıştır. Röle 5V ile tetiklenmektedir ve röleyi tetiklemek için BC547 transistörü kullanılmıştır. Röle normalde kapalı konumunda kullanılmaktadır.

Sistemin ihtiyaç duyduğu 5V gerilimi için lineer voltaj regülatörü olan LM7805 entegresinin devresi delikli pertinaks üzerine lehimlenmiştir. Sensörlerden gelecek veriler ve hesaplamaların gözlemlenmesi için 16x2 LCD ekran ekran eklenmiştir.

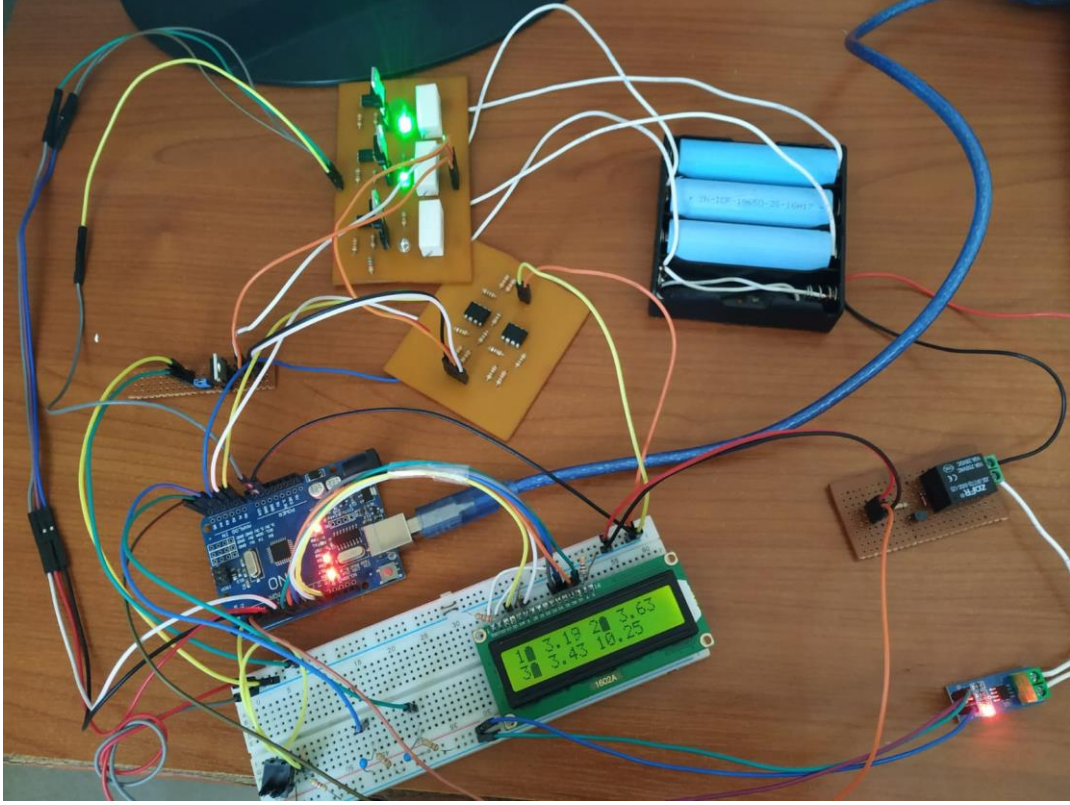


şekil 3. 14: LCD Arayüzü 1. Sayfa



şekil 3. 15: LCD Arayüzü 2. Sayfa

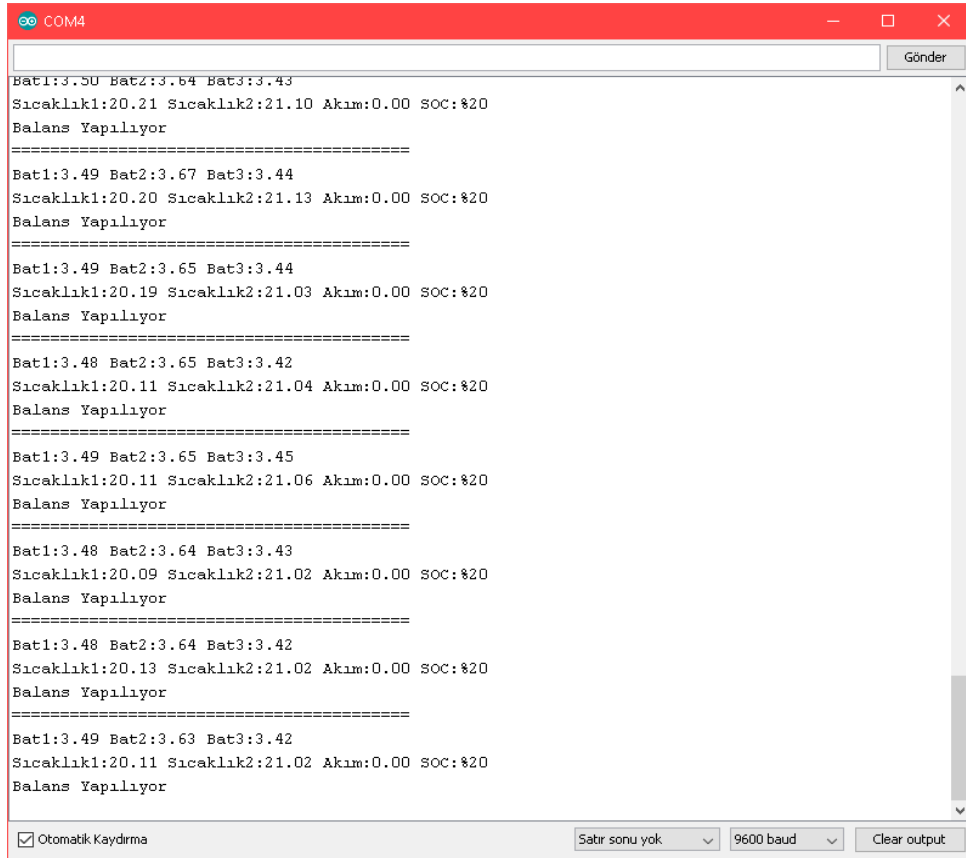
Tüm sensör ve tasarlanan devreler bir araya getirilerek sistem oluşturulmuştur. Oluşturulan sisteme eklerde yer alan kodlar yüklenerek sistem çalışması test edilmiştir.



Şekil 3. 16: BYS'nin Aktif Halde Çalışan Görüntüsü

3.3 Uygulama Sonuçları ve Yorumlanması

Testlerde elde ettiğimiz verilere göre çalışma hem donanımsal hem de yazılımsal olarak sistem bütünlüğü sağlanmıştır. Öncelikle sisteme dengesizlik yaşanması için piller arasındaki gerilim farkının büyümesi için daha düşük gerilimli bir pil sisteme entegre edilmiş ve dengeleme algoritması devreye girerek gerilim farkının belirlenen seviyelere gelmesini sağlamıştır. Şekil dengeleme sırasında seri port ekranının görüntüsüdür.



Şekil 3. 17: BYS Parametrelerinin SeriPport Görüntüsü

Ardından batarya şarja takılmıştır. Dengeleme bir önceki adımda gerçekleştiği için piller aralarında gerilim farkı oluşmadan şarj işlemini tamamlamışlardır.

Diğer bir test olarak pillere herhangi bir yüke bağlı olmadığı durumda piller içerisinde birinin çıkartılarak gerilimi çıkarılan pilden daha yüksek olan yeni bir pil takılıyor. Bu durumda yeni takılan pilin gerilimi diğer pillerden daha yüksek olduğundan dolayı hücreler arasındaki gerilim farkının belirlenen değere kadar düşürülmesi sağlanmıştır. Şarj ve deşarj anı LCD ekran üzerinden gözlemlenmiştir.

BÖLÜM 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu bölümünde tüm çalışmanın sonucunda elde edilen bulgular yorumlanarak çeşitli öneriler sunulmuştur. Çalışma sonuçlarının gerçekçi kısıtlar açısından analizi yapılmıştır.

4.1 Sonuçlar

Tasarlanan batarya yönetim sisteminin gerçekleştirilen testlerinde, tasarımın ölçüm doğruluğu açısından beklenildiği gibi çalıştığı gözlemlenmiştir. Gerilim, sıcaklık ve akım ölçümlerinde gürültülü ADC sinyalinin parazitlerden kurtulması için ortanca filtresi yazılıma eklenmiştir. Giriş ve çıkış işaretleri incelendiğinde filtre uygulamasının başarıya ulaştığı gözlemlenir.

4.2 Öneriler

Tasarlanan batarya yönetim sistemi, merkezi topoloji içermektedir ve hücrelerin dengelenmesi için pasif dengeleme sistemi kullanılmıştır. Pasif dengeleme sistemi hücreleri dengelerken fazla enerjiyi dirençler vasıtası ile ısı olarak açığa çıkarmaktadır. Isı olarak açığa çıkan enerji miktarı az olsa da ısı olarak açığa çıkan enerji hem israf edilmektedir hem de bataryanın sıcaklık değerini arttırmaktadır.

Bu durumun önüne geçilmek için aktif dengeleme sistemi kullanılabilir. Aktif dengelem sistemi pasif dengeleme sistemine göre biraz daha karmaşıktır.

4.3. Sonuçların Sağlık, Çevre ve Güvenlik Açısından Analizi

Giriş bölümünde bahsedildiği gibi Lityum tabanlı piller doğru kullanılmadıklarında birçok tehlikeye yol açmaktadır. Belirlenen değerlerin üzerine veya altına inildiğinde bozunmalara uğrayarak bir zaman sonra yangına ya da patlamaya sebep olabilirler. Tasarımı gerçekleştirilen batarya yönetim sistemi ile bu durum ortadan kaldırılmıştır. Şarj veya deşarj anında pillerin gerilimleri, sıcaklıkları ve bataryadan çıkan akım değeri kontrol edilerek kritik seviyeleri aşmaları önlenmiştir. Bu sayede piller batarya yönetim sistemine bağlanmamış pillere göre daha uzun ömürlü ve güvenilir hale getirilmiştir.

BÖLÜM 5. KAYNAKLAR

- [1] S. KIVRAK, T. OZER, Y. OGUZ E.B. ERKEN “Battery Management System Implementation with Pasive Control Method” Measurement and Control 2020, Vol. 53(1-2) 205–213
- [2] Kristaps VITALS, “Redesign of Passive Balancing Battery Management System to Active Balancing with Integrated Charger Converter” IEEE, 14th Biennial Baltic Electronics Conference, 2014.
- [3] Z.Wangbin, H. Jun, C. Haitao, L. Huiying. W. Chunyu, “An Active Balance Circuit Applied to Lithium Ion Battery Packs” IEEE, Shanghai Institute of Space Power-sources,2018.
- [4] Zheng, M., Qi, B., & Wu, H., “A Li-ion battery management system based on CAN-bus for electric vehicle”, In 2008 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 1180-1184, (2008).
- [5] F. Baronti, G. Fantechi, R. Roncella, R. Saletti, 2013, High-Efficiency Digitally Controlled Charge Equalizer for Series-Connected Cells Based on Switching Converter and Super-Capacitor, IEEE Transactions on Industrial Informatics Vol.9 No.2, 1139 – 1147, 1551-3203
- [6] Tolga OZER, “Active And Passive Balancing Battery Control For Electric Vehicle” Natural and Applied Sciences of Ankara Yıldırım Beyazıt University,Ankara, 2020
- [7] Tolga BAYKAL, “Lityum Polimer Bataryalar İçin Batarya Yönetim Sistemi Geliştirilmesi” İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013.

- [8] Bentley, W. F., "Cell balancing considerations for lithium-ion battery systems," 12th Annual Battery Conference on Applications and Advances, 223-226, California, 1997.
- [9] Cao, J., Schofield, N., & Emadi, A., "Battery balancing methods: A comprehensive review," IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 1-6, Harbin, 2008.
- [10] Kutkut, N. H., & Divan, D. M., "Dynamic Equalization Techniques for Series Battery Stacks," IEEE Telecommunications Energy Conference, INTELEC '96, pp. 514-521, Boston, 1996.
- [11] Moore, S. & Schneider, P., "A Review of Cell Equalization Methods for Lithium Ion and Lithium Polymer Battery Systems," in Proceedings of the SAE 2001 World Congress, 2001.
- [12] Thomas, A., & Zhu, W., "Fast Equalization for Large Lithium Ion Batteries," IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 24, 27-31, 2009.
- [13] Lagraoui, M., Doubabi, S. ve Rachid, A. "SOC estimation of Lithium-ion battery using Kalman filter and Luenberger observer: A comparative study", In 2014 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC). 636-641, Ouarzazate, 2014.
- [14] Phung, T. H., Crebier, J. C., Chureau, A., Collet, A., & Nguyen, N. T. "Optimized Structure for Next-to-Next Balancing of Series- Connected Lithium-ion Cells," 26th Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 1374-1381, Texas, 2011.
- [15] Imtiaz, A., Khan, F., & Kamath, H., "A Low-Cost Time-Shared Cell Balancing Technique for Future Lithium-Ion Battery Storage System Featuring Regenerative Energy Distribution," IEEE 26th Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 792-799, Texas, 2011.

- [16] Shin, J., Seo, G., Chun, C., & Cho, B., "Selective Flyback Balancing Circuit with Improved Balancing Speed for Series Connected Lithium-ion Batteries," the 2010 International Power Electronics Conference (IPEC), 1180-1184, Sapporo, 2010
- [17] Yan, J., Cheng, Z., Xu, G., Qian H., & Xu, Y., "Fuzzy Control for Battery Equalization Based on State of Charge" IEEE 72nd Vehicular Technology Conference Fall, 1-7, Ottawa, 2010.
- [18] Yuang-Shung, L., Chun-Yi, D., Guo-Tian, C., & Shen-Ching, Y., "Battery Equalization Using Bi-directional Cûk Converters in DCVM Operation," IEEE, 36th Power Electronics Specialists Conference, PESC '05, 765–771, Recife, 2005.
- [19] Hong, W., Ng, K., Hu, J., & Moo, C., "Charge Equalization of Battery Power Modules in Series," The 2010 International Power Electronics Conference, 1568-1572, Sapporo, 2010.
- [20] Ines Baccouche, Asma Mlayah, Sabeur Jemmali, "Implementation of a Coulomb Counting Algorithm for SOC estimation of Li-Ion Battery for Multimedia Applications", 12th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices, 2015.
- [21] K. Soon Ng , C.S. Moo, Y. Chen, and Y. Hsieh, "Enhanced coulomb counting method for estimating state-of-charge and state-of-health of lithium-ion batteries," J Applied Energy, vol.86 , pp. 1506–1511, 2009.
- [22] S. Piller, M. Perrin, and A. Jossen, "Methods for state-of-charge determination and their applications". J Power Sources vol. 96, pp. 113– 120, 2001.
- [23] Ms.S.Sindhuja, Dr.K.Vasanth, "Modified coulomb counting method of SOC estimation for uninterruptible power supply system's battery management system", ICCICCT, 2015

[24] Avgın, M.S., (2012). Batarya şarj doluluk durumu model parametresinin G.E.P ile tahmin edilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş

[25] Gül, H.S., (2018). Elektrikli araçlar için batarya yönetim sistemi tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.

[26] O. KARADENİZ, “Lityum Tabanlı Enerji Depolama Üniteleri İçin Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı”, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,2017.

[27] “Battery Management Systems (BMS)”
< <http://www.mpoweruk.com/bms.htm>>, Erişim Tarihi:12.05.2021

[28] “The Four Components of a Li-ion Battery”
<<https://www.samsungsdi.com/column/technology/detail/55272.html?listType=gallery>>15.05.2021

BÖLÜM 6. ÖZ GEÇMİŞ

Hüseyin Can SAĞIR, 23.06.1998 de İstanbul’ da doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbul’da tamamladı. 2016 yılında Mecidiyeköy Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümünü kazandı. Eğitimi süresince Eresense Elektronik’te ilk stajını tamamladı. Halihazırda Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü 4. Sınıf öğrencisidir.

Melih Cüneyt AKKAYA, 08.03.1999 tarihinde Sakarya’nın Adapazarı ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini 17 Ağustos İlköğretim okulunda 2013’te tamamladı. Lise öğrenimini ise Atatürk Anadolu Lisesinde 2017 tarihinde tamamlamıştır. Lise öğreniminden mezun olduğu tarihte Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi’nde Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünü kazandı ve şu anda 4. Sınıf öğrencisidir.

BÖLÜM 7. EKLER

EK A. IEEE Etik Kurallar Onay Formu



IEEE üyeleri olarak bizler bütün dünya üzerinde teknolojilerimizin hayat standartlarını etkilemesindeki önemin farkındayız. Mesleğimize karşı şahsi sorumluluğumuzu kabul ederek, hizmet ettiğimiz toplumlara ve üyelerine en yüksek etik ve mesleki davranışta bulunmayı söz verdiğimiz ve aşağıdaki etik kuralları kabul ettiğimizi ifade ederiz.

1. Kamu güvenliği, sağlığı ve refahı ile uyumlu kararlar vermenin sorumluluğunu kabul etmek ve kamu veya çevreyi tehdit edebilecek faktörleri derhal açıklamak;
2. Mümkün olabilecek çıkar çatışması, ister gerçekten var olması isterse sadece algı olması, durumlarından kaçınmak. Çıkar çatışması olması durumunda, etkilenen taraflara durumu bildirmek;
3. Mevcut verilere dayalı tahminlerde ve fikir beyan etmelerde gerçekçi ve dürüst olmak;
4. Her türlü rüşveti reddetmek;
5. Mütenasip uygulamalarını ve muhtemel sonuçlarını gözeterek teknoloji anlayışını geliştirmek;
6. Teknik yeterliliklerimizi sürdürmek ve geliştirmek, yeterli eğitim veya tecrübe olması veya işin zorluk sınırları ifade edilmesi durumunda ancak başkaları için teknolojik sorumlulukları üstlenmek;
7. Teknik bir çalışma hakkında yansız bir eleştiri için uğraşmak, eleştiriye kabul etmek ve eleştiriye yapmak; hatları kabul etmek ve düzeltmek; diğer katkı sunanların emeklerini ifade etmek;
8. Bütün kişilere adilane davranmak; ırk, din, cinsiyet, yaş, milliyet, cinsi tercih, cinsiyet kimliği veya cinsiyet ifadesi üzerinden ayrımcılık yapma durumuna girişmemek;
9. Yanlış veya kötü amaçlı eylemler sonucu kimsenin yaralanması, mülklerinin zarar görmesi, itibarlarının veya istihdamlarının zedelenmesi durumlarının oluşmasından kaçınmak;
10. Meslektaşlara ve yardımcı personele mesleki gelişimlerinde yardımcı olmak ve onları desteklemek.

IEEE Yönetim Kurulu tarafından Ağustos 1990'da onaylanmıştır.

Bu çalışma IEEE Etik ilkelerine bağlı kalınarak hazırlanmıştır.

Ad Soyad	Öğrenci No	İmza
Melih Cüneyt AKKAYA	B170100077	
Hüseyin Can SAĞIR	B160100061	

EK B. Seminer, Fuar, Konferans Katılım Belgesi

28 Nisan 2021

Saat: 11:00- 12:00

Seminerin Adı: Battery Management Systems, Cells to Algorithms

Konuřmacılar: Jan Janse van Rensburg, Gernot Schrabberger.

Seminer The MathWorks Őirketi tarafından düzenlenmiřtir.

Katılımcılar: Melih Cüneyt AKKAYA, Hüseyin Can SAĞIR

EK C. Çalışma Yönetimi

Bu bölümde, iş-zaman çizelgesi ve/veya iş-görev paylaşımı, başarı ölçütleri ve risk yönetimi belirtilmektedir.

İş Zaman Çizelgesi ve/veya İş Görev Paylaşımı

HAFTALAR												
İş Tanımı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Proje belirlendi ve Proje hakkında araştırma yapıldı.												
Araştırma sonuçlarına göre tasarım aşamasına geçildi.												
Simülasyon çalışmaları yapıldı.												
Malzeme siparişi verildi ve siparişin gelmesi beklenirken araştırma yapılmaya devam edildi.												
Malzemeler temin edildikten sonra devre kurulum aşamasına geçildi.												
Devre kurulum aşamasında iyileştirme devam edildi ve simülasyonda ilgili devre çizimleri değiştirildi.												
Değişen kısımlar için tekrardan malzeme siparişi verildi.												
Malzeme temininden sonra devre son haline getirildi.												

Tablo 7.1: İş-Zaman Çizelgesi

Başarı Ölçütleri

İlk adımda sistemin analizi çıkartılıp teorikte hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Ardından simülasyon çalışmaları ile bu hesaplamaların birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Bu başarılar elde edildikten sonra sistem gerçek hayata entegre edilerek çalıştırılmıştır. Sonuçta, çıktı olarak simülasyon ve teorik hesaplamalardan az

da olsa farklı değerler elde edilmiştir. Bu başarı yüzdesini kötü etkilemeyecek kadar azdır. Sistemin asıl amacına ulaşılmıştır. Li-iyon piller için tasarlanan batarya yönetim sistemi herhangi bir sistemde çalışabileceği sonucuna varılmıştır.

Risk Yönetimi

Çalışmada kullanılan Li-iyon pillerin nominal gerilim değerleri, sistemin kontrolünü sağlan mikro denetleyicinin dijital ve analog giriş çıkışlarının çalışma gerilim değerine göre çok üstündedir. Bundan dolayı oluşabilecek kısa devre olaylarında mikro işlemciyi kullanılmaz hale getirecektir. Bu durumda entegre olarak kullanılacak mikro işlemci yerine dışarıdan kablolar ile bağlayabileceğim ters gerilim veya akım korumasına sahip bir mikro denetleyici kullanılabilir. Gerilim ölçümü için gerilim bölücü dirençler yardımıyla pillerin gerilim değeri ADC'nin okuyabileceği seviyeye getirilebilir. Herhangi bir sorun çıkarttığına Gerilim ölçümü için Op-Amp entegresi ile fark alıcı devresi kurularak gerilim ölçümü gerçekleştirilebilir.

Maliyet Değerlendirmesi

MALZEME	MALİYET (₺)
ACS712 Akım Sensörü	19,50
3x ICR 18650 2500mAh Li-iyon Pil	76,98
16x2 LCD Ekran	13,75
3x TIP122 Transistör	15,00
3x10 ohm Taş Direnç	3,00
Devrede Kullanılan Dirençler	3,00
20x20 cm Bakır plaket	14,00
18650 Li-iyon Pil Yuvası	4,00
3x NTC Direnç	3,00
5V Röle Kartı	9,50
5V Regülatör Kartı	5,00
Breadboard	9,70
Arduino UNO	41,05
TOPLAM	217,48

Tablo 7.2: Maliyet Hesabı

EK D. Çalışma ile İlişkili Diğer Ekler

EK D.1. Çalışma Yazılım Kodları

```
#include "math.h"
```

```
#include <LiquidCrystal.h>
```

```
const float Vprotectmax=4.2;
```

```
const float Vprotectmin=3.2;
```

```
const float DeltaGerilim=0.03;
```

```
const float Iprotect=4.5;
```

```
const float totalC =9000;
```

```
#define P1 A0
```

```
#define P2 A1
```

```
#define P3 A2
```

```
#define S1 A3
```

```
#define S2 A4
```

```
#define ACS A5
```

```
#define B1 7
```

```
#define B2 6
```

```
#define B3 5
```

```
#define Relay 4
```

```
volatile int Av1,Av2,Av3,At1,At2,Acurrent,previous=0,delta,clomb,SOC;
```

```
volatile float G1,G2,G3,T1,T2,Gmax,Gmin;
```

```
volatile float DeltaV1,DeltaV2,DeltaV3;
```

```
volatile int buton=0;
```

```
volatile double Ak=0;
```

```
bool balance=false;
```

```
byte cell[] = {
```

```
    B01110,
```

```
    B11111,
```

```
    B11111,
```

```
    B11111,
```

```

    B11111,
    B11111,
    B11111,
    B11111
};
byte e[] = {
    B01111,
    B01111,
    B11110,
    B11100,
    B11110,
    B01100,
    B01000,
    B10000
};
byte derece[] = {
    B01000,
    B10100,
    B01000,
    B00000,
    B00000,
    B00000,
    B00000,
    B00000
};
LiquidCrystal lcd(13,12,11,10,9,8);
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    timerssetup();
    lcd.begin(16, 2);
    lcd.createChar(1,cell);
    lcd.createChar(2,derece);
    lcd.createChar(3,e);
    Serial.begin(9600);

```

```

pinMode(B1,OUTPUT);
pinMode(B2,OUTPUT);
pinMode(B3,OUTPUT);
pinMode(Relay,OUTPUT);
pinMode(3,INPUT);
}

```

```

void loop() {
    maxbul();
    minbul();
    DeltaV1=G1-Gmin;
    DeltaV2=G2-Gmin;
    DeltaV3=G3-Gmin;
    if(Ak>0.1){
        if(Gmin<=Vprotectmin || Ak>=Iprotect){
            digitalWrite(Relay,HIGH);
            lcd.clear();
            lcd.setCursor(8,0);
            lcd.print("UYARI!");
            lcd.setCursor(5,1);
            lcd.print("Batarya Bitti");
        }
        if(digitalRead(B1)==1||digitalRead(B2)==1||digitalRead(B3)==1){
            digitalWrite(B1,LOW);
            digitalWrite(B2,LOW);
            digitalWrite(B3,LOW);
        }
    }
    if(Ak<-0.1){
        if(Gmax>=Vprotectmax)
        {
            digitalWrite(Relay,HIGH);
            lcd.clear();
            lcd.setCursor(8,0);

```

```

lcd.print("Dengeleme Yapılıyor");
delay(1000);
lcd.clear();
page1();
if(DeltaV1>=DeltaGerilim)
digitalWrite(B1,HIGH);
else
digitalWrite(B1,LOW);
if(DeltaV2>=DeltaGerilim)
digitalWrite(B2,HIGH);
else
digitalWrite(B2,LOW);
if(DeltaV3>=DeltaGerilim)
digitalWrite(B3,HIGH);
else
digitalWrite(B2,LOW);
}
}
if(Ak==0){
if(DeltaV1>=DeltaGerilim)
digitalWrite(B1,HIGH);
else
digitalWrite(B1,LOW);
if(DeltaV2>=DeltaGerilim)
digitalWrite(B2,HIGH);
else
digitalWrite(B2,LOW);
if(DeltaV3>=DeltaGerilim)
digitalWrite(B3,HIGH);
else
digitalWrite(B2,LOW);

}

```

```

if(S1>=40 || S2>=40)
digitalWrite(Relay,HIGH);

delta=millis()-previous;
clomb=delta*Ak;
SOC=(clomb/totalC)*100+SOC;
previous=millis();

if(buton==0)
page1();
if(buton==1)
page2();
if(digitalRead(3)==1 &&buton==1){
buton=0;
lcd.clear();
delay(100);
}
if(digitalRead(3)==1 &&buton==0){
buton=1;
lcd.clear();
delay(100);
}

}

```

```

ISR(TIMER1_COMPA_vect){
TCNT1 = 0;
float Ger1=0, Ger2=0, Ger3=0, Te1=0, Te2=0;
double akim =0;
int sample=500;

for(int i=0;i<sample;i++)
{
Av1=analogRead(P1);

```

```

Av2=analogRead(P2);
Av3=analogRead(P3);
At1=analogRead(S1);
At2=analogRead(S2);

G1=(Av1/ 1024.0) * 5*3.8;
G2=(Av2/ 1024.0) * 5*3.4;
G3=(Av3/ 1024.0) * 5*3.4;
T1 = Termistor(At1);
T2=Termistor(At2);
Acurrent=analogRead(ACS);
Ak=ACS712(Acurrent);
Ger1=Ger1+G1;
Ger2=Ger2+G2;
Ger3=Ger3+G3;
Te1=T1+Te1;
Te2=T2+Te2;
akim=akim+Ak;
delay(1);
}

Ak=(akim/sample);
G1=Ger1/sample;
G2=Ger2/sample;
G3=Ger3/sample;
T1=Te1/sample;
T2=Te2/sample;
if (Ak > -0.2 && Ak < 0.2)
    Ak= 0;
Serial.print("=====");
Serial.print("\n");
Serial.print("Bat1:");
Serial.print(G1);
Serial.print(" ");

```

```

Serial.print("Bat2:");
Serial.print(G2);
Serial.print(" ");
Serial.print("Bat3:");
Serial.print(G3);
Serial.print("\n");
Serial.print("Sıcaklık1:");
Serial.print(T1);
Serial.print(" ");
Serial.print("Sıcaklık2:");
Serial.print(T2);
Serial.print(" ");
Serial.print("Akım:");
Serial.print(Ak);
Serial.print(" ");
Serial.print("SOC:%20");
Serial.print("\n");
if(digitalRead(B1)==1||digitalRead(B2)==1||digitalRead(B3)==1)
    Serial.print("Balans Yapılıyor");
    Serial.print("\n");
}

```

```

float Termistor(int analogOkuma) {
    float sicaklik;
    sicaklik = log(((10240000 / analogOkuma) - 10000));
    sicaklik = 1 / (0.001129148 + (0.000234125 + (0.0000000876741 * sicaklik *
sicaklik)) * sicaklik);
    sicaklik = sicaklik - 273.15;
    return sicaklik;
}

double ACS712(int adcValue){
    double adcVoltage = (adcValue / 1024.0) * 5000;
    double currentValue = ((adcVoltage - 2500) / 185.0);
    return currentValue;
}

```

```
}
```

```
void timersetup(){
    cli();
    TCCR1A = 0;
    TCCR1B = 0;
    TCCR1B |= B00000100;
    TIMSK1 |= B00000010;
    OCR1A = 31250;
    sei();
}

void maxbul(){
    if(G1>=G2&&G1>=G3)
        Gmax=G1;
    else if(G2>=G1&&G2>=G3)
        Gmax=G2;
    else
        Gmax=G3;
}

void minbul(){
    if(G1<=G2&&G1<=G3)
        Gmin=G1;
    else if(G2<=G1&&G2<=G3)
        Gmin=G2;
    else
        Gmin=G3;
}

void page1(){
    lcd.setCursor(1,0);
    lcd.write(1);
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("1");
    lcd.setCursor(3,0);
    lcd.print(G1);
```



```

    lcd.setCursor(9,0);
    lcd.write(1);
    lcd.setCursor(8,0);
    lcd.print("2");
    lcd.setCursor(11,0);
    lcd.print(G2);
    lcd.setCursor(1,1);
    lcd.write(1);
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("3");
    lcd.setCursor(3,1);
    lcd.print(G3);
    lcd.setCursor(8,1);
    lcd.print(G1+G2+G3);
}

void page2(){
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("S1:");
    lcd.setCursor(3,0);
    lcd.print(round(T1));
    lcd.setCursor(5,0);
    lcd.write(2);
    lcd.setCursor(6,0);
    lcd.print("C");
    lcd.setCursor(9,0);
    lcd.print("S2:");
    lcd.setCursor(12,0);
    lcd.print(round(T2));
    lcd.setCursor(14,0);
    lcd.write(2);
    lcd.setCursor(15,0);
    lcd.print("C");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("SOC:");

```

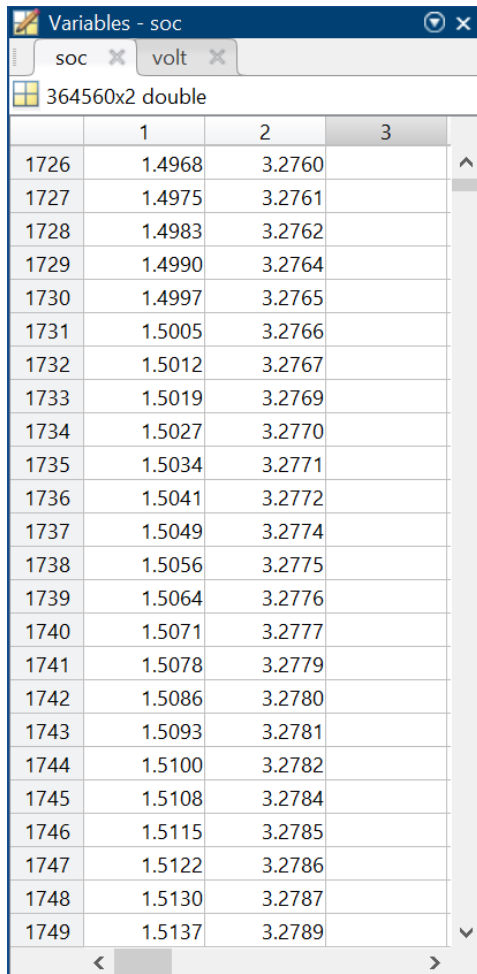
```

lcd.setCursor(4,1);
lcd.print(SOC);
lcd.setCursor(9,1);
lcd.print("I:");
lcd.setCursor(11,1);
lcd.print(Ak);
lcd.setCursor(15,1);
lcd.print("A");

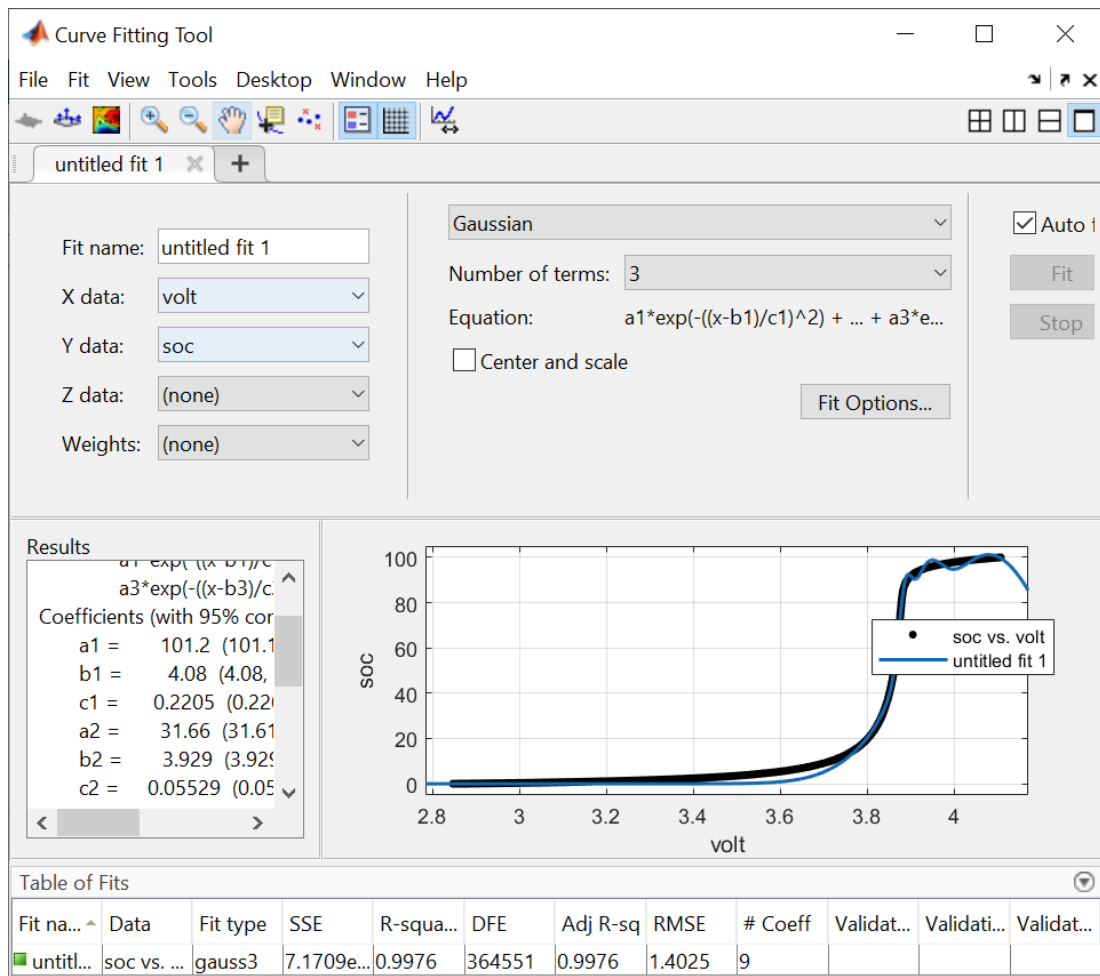
}

```

EK D.2. SOC tahmini için MATLAB Programında Eğri Uydurma



	1	2	3
1726	1.4968	3.2760	
1727	1.4975	3.2761	
1728	1.4983	3.2762	
1729	1.4990	3.2764	
1730	1.4997	3.2765	
1731	1.5005	3.2766	
1732	1.5012	3.2767	
1733	1.5019	3.2769	
1734	1.5027	3.2770	
1735	1.5034	3.2771	
1736	1.5041	3.2772	
1737	1.5049	3.2774	
1738	1.5056	3.2775	
1739	1.5064	3.2776	
1740	1.5071	3.2777	
1741	1.5078	3.2779	
1742	1.5086	3.2780	
1743	1.5093	3.2781	
1744	1.5100	3.2782	
1745	1.5108	3.2784	
1746	1.5115	3.2785	
1747	1.5122	3.2786	
1748	1.5130	3.2787	
1749	1.5137	3.2789	



BİTİRME ÇALIŞMASI SON KONTROL FORMU

		EVET	HAYIR
1	Beyan formu çalışmada bulunuyor mu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Özet bölümü en az 150 kelime içermekte mi?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Simge ve Kısaltmalar uygun şekilde yazılmış mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Şekiller listesi formata uygun şekilde hazırlanmış mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Tablolar listesi formata uygun şekilde hazırlanmış mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	İş paketleri ve zaman çizelgesi çalışmada verilmiş mi?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	Başarı ölçütlerinden bahsedilmiş mi?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	Risk yönetimi ve planlaması bulunmakta mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	Sonuçların sağlık, çevre ve güvenlik açısından analizi gerçekleştirilmiş mi?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	Deney Tasarımı Açıklamaları verilmiş mi?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	IEEE Etik kurallar onay formu imzalanmış mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	Çalışmanın Ulusal ya da Uluslararası standartlar ilişkisi verilmiş mi?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	Seminer, Kongre, Konferans veya Teknik Gezi katılım kanıtı mevcut mu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	Kaynaklar bölümü formata uygun hazırlanmış mı?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	Yazım kılavuzuna aykırı durumlar mevcut mu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bu çalışma tarafımdan incelenmiş olup kontrol sonuçları yukarıda verildiği gibidir.

İnceleyen :

Tarih : 2021-06-07

İmza :