



**KTO KARATAY ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK VE ELEKTRONİK ANABİLİM DALI
ELEKTRİK VE BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ
TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**AKTİF VE PASİF DENGELEME YAPABİLEN ÇOKLU KURŞUN ASİT
BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI**

Muhammet YİĞİTER

Yüksek Lisans Tezi

KONYA

Aralık 2022

AKTİF VE PASİF DENGELEME YAPABİLEN ÇOKLU KURŞUN ASİT BATARYA
YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI

Muhammet YİĞİTER

KTO Karatay Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği
Yüksek Lisans Programı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi H. Oktay ALTUN
Eş Danışmanı: Prof. Dr. Sinan KIVRAK

Konya
Aralık 2022

BİLDİRİM

Enstitü tarafından onaylanan Yüksek Lisans tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını basılı veya dijital biçimde arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullar dahilinde erişime açma iznini KTO Karatay Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle, Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak ve gelecekteki çalışmalar (makale, kitap, lisans, patent vb.) için tezimin tamamının veya bir bölümünün kullanım hakları yalnızca bana ait olacaktır.

Tezimin bütünüyle kendi çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izinle kullanılması zorunlu olan kaynakları, yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde izinlerin suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayımlanan “Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge” kapsamında, tezim, aşağıda belirtilen koşullar haricince, YÖK Ulusal Tez Merkezi ve KTO Karatay Üniversitesi Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte Yönetim Kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.¹
- Enstitü / Fakülte Yönetim Kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren . . . ay ertelenmiştir.²
- Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir.^{3,4}

19 Aralık 2022

Muhammet YİĞİTER

¹ MADDE 6(1) Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.

² MADDE 6(2) Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.

³ MADDE 7(1) Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, tezin yapıldığı kurum tarafından verilir. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, ilgili kurum ve kuruluşun önerisi ile enstitü veya fakültenin uygun görüşü üzerine üniversite yönetim kurulu tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.

⁴ MADDE 7(2) Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

ETİK BEYAN

KTO Karatay Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Hazırlama ve Yazım Kurallarına uygun olarak Dr. Öğr. Üyesi H. Oktay ALTUN danışmanlığında tarafımdan üretilen bu tez çalışmasında; sunduğum tüm veri, enformasyon, bilgi ve belgeleri bilimsel etik kuralları çerçevesinde elde ettiğimi, tüm değerlendirme, analiz, bulgu ve sonuçları bilimsel usullere uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım kaynakların tümüne bilimsel normlara uygun biçimde atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

19 Aralık 2022

Muhammet YİĞİTER

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında ilgisini ve önerilerini esirgemeyen değerli danıőman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Oktay ALTUN'a, kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösteren ve destek olan değerli hocam sayın Prof. Dr. Sinan KIVRAK'a teşekkür ve saygılarımı sunarım. Ayrıca patent desteğinden ötürü Ostim Teknik Üniversitesine teşekkür ederim.

Çalıőmalarım boyunca destekleriyle her zaman hayatımı kolaylaőtıran ve beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan sevgili anneme, babama ve müstakbel eőime sonsuz teşekkür ederim.

Muhammet YİĞİTER
Aralık-2022

ÖZET

Muhammet YİĞİTER

Aktif ve Pasif Dengeleme Yapabilen
Çoklu Kurşun Asit Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı

Yüksek Lisans Tezi

Konya, 2022

Günümüzde enerji depolama sistemlerine çokça ihtiyaç duyulmaktadır. Kurşun asit batarya paketleri uygun kullanım koşulları nedeni ile enerji depolama sistemlerinde sıkça kullanılmaktadır. Her batarya paketinde olduğu gibi kurşun asit bataryaların şarjları esnasında bazı problemler yaşanmaktadır. Seri paralel bağlı kurşun asit batarya paketleri şarj olduktan sonra hücre gerilimleri eşit kalmamaktadır. Dengesizlik bazı hücrelerin aşırı şarj olmasına sebep olurken bazı bataryaların tam şarj olmasına mani olmaktadır. Batarya paketlerinin şarjlarında oluşan bu problemler akü ömürlerini ve performanslarını büyük ölçüde etkilemektedir. Yapılan araştırmalar dengeleme sistemi olmayan batarya paketi ömürlerinin neredeyse yarı yarıya kısalabileceğini göstermektedir. Şarj cihazları bu problemleri fark edemedikleri için dengeleme, koruma ve takip devreleri tasarlanmıştır. Bu tasarımlara batarya yönetim sistemi (BMS) denilmektedir.

Bu tezde 12V 4 adet seri bağlı kurşun asit bataryalar için hem aktif hem pasif dengeleme metodu uygulanmıştır. Kullanılan aktif dengeleme sisteminin görevi, şarj olurken SOC değeri ortalamanın altında kalan hücrelere batarya paketinden enerji transferini sağlamaktır. Bu enerji transferi sayesinde batarya paketi sürekli dengede kalır. Yapılan deneylerde sistemin 120 dakika içerisinde dengeleme işlemini gerçekleştirdiği görülmektedir. Pasif dengeleme sisteminin görevi bataryaların şarjı esnasında aşırı gerilime ulaşması durumunda şönt direnç kullanarak fazla enerjiyi ısıya dönüştürmektir. 14.8V ve üzeri değere sahip gerilimler bataryaların normal çalışma aralığının dışındadır. Sistem sadece bu gerilimlerde devreye girmektedir. Pasif dengeleme, sisteme bağlı koruyucu görev için kullanılmaktadır. Yüksek gerilimlere ulaşmadan çalışmaması, diğer pasif dengeleme sistemlerinden daha verimli çalışmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca batarya sıcaklıklarının takibi için dijital sıcaklık sensörleri kullanılmıştır. Sistem bataryaların aşırı sıcaklıklara ulaşması durumunda aktif dengelemeyi durdurabilir, kullanıcıyı uyarabilir ve ek olarak şarj cihazını kapatabilir.

Anahtar kelimeler: Kurşun asit batarya, batarya yönetim sistemi, balans şarj, aktif ve pasif dengeleme

ABSTRACT

Muhammet YİĞİTER

Multiple Lead Acid Battery Management System Design, Capable of
Active and Passive Balancing

Master's Thesis

Konya 2022

Today, energy storage systems are needed a lot. Lead acid battery packs are frequently used in energy storage systems due to appropriate conditions of use. As in any battery package, there are some problems during the charging of lead acid batteries. The cell voltages are not equal after charging the series and parallel connected lead acid battery packages. The imbalance causes overcharge of some cells, while some batteries prevent full charge. These problems, which occur in the charging of battery packages, greatly affect the life and performance of the battery. Research shows that the battery package without a balancing system can be shortened by almost half. Charging devices cannot notice these problems. Therefore, protection and follow-up circuits are designed. These designs are called Battery Management System (BMS).

In this thesis, both active and passive balancing methods were applied for 12V 4 series of lead acid batteries. The task of the active balancing system used is to provide energy transfer from the battery pack to the cells below the average of the SOC value. Thanks to this energy transfer, the battery pack remains constantly in balance. In the experiments, it is seen that the system performs the balancing process within 120 minutes. The task of the passive balancing system is to convert excess energy into heat by using shunt resistance if the batteries reach excessive voltage during charging. Voltages of 14.8V and above are outside the normal operating range of the batteries. The system is activated in these voltages. Passive balancing acts as a protective task connected to the system. The fact that it does not work without reaching high voltages allows it to work more efficiently than other passive balancing systems. In addition, digital temperature sensors were used to monitor battery temperatures. If the system reaches extreme temperatures, the system can stop active balancing, stimulate the user, and can in stop the charger.

Keywords: Lead acid battery, battery management system, balancing charging, active and passive balancing

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
BİLDİRİM	ii
ETİK BEYAN	iii
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
TABLolar DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
SİMGELER DİZİNİ	xiv
KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1 GİRİŞ	1
1.1 Bataryalar	1
1.1.1 Kurşun Asit Bataryalar	4
1.2 Batarya Yönetim Sistemi	6
1.2.1 Dengeleme	7
1.2.2 Pasif Dengeleme	8
1.2.3 Aktif Dengeleme	8
2 LİTERATÜR ÖZETİ	11

ix

3	PROJENİN UYGULAMASI	15
3.1	Akü Gerilimlerinin Okunması	16
3.1.1	ADC Okuma	18
3.1.2	Ortanca Filtresi (Median Filter)	19
3.1.3	Ortanca Filtre Algoritması	19
3.1.4	Ortanca Filtre Yazılımı	20
3.1.5	Gerilim Okuma Algoritması	22
3.1.6	Gerilim Okuma Yazılımı	22
3.2	Aktif Dengeleme Devresi	24
3.2.1	Akım Okuma	28
3.2.2	Akım Sınırlama	30
3.3	Pasif Dengeleme Devresi	30
3.4	Sıcaklık Okuma	33
3.5	Donanım	33
3.5.1	Buck Converter Devresi	38
3.5.2	DC/DC ve AC/DC İzole Kaynak Anahtarlama Devresi	39
3.6	Sistem Çalışma Algoritması ve Yazılımları	40
3.7	Enerji Tasarrufu	46
4	DENEY ÇIKTILARI	48
5	SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	53
5.1	Önerilen Sitemin Diğer Tasarımlarla Karşılaştırılması	53
	KAYNAKLAR	55
	ÖZGEÇMİŞ	59

TABLolar DİZİNİ

1.1	Batarya çeşitleri tablosu	2
3.1	ACS712 seçim kılavuzu	29
5.1	Alternatif ürünlerle önerilen sistemin karşılaştırması	54

ŞEKİLLER DİZİNİ

1.1	Batarya türlerinin başlıca avantajları ve dezavantajları	3
1.2	Batarya sistemlerinin teorik ve gerçek özgül enerjisi	4
1.3	Kurşun asit bataryanın kesit görünümü	5
1.4	Pasif dengeleme ile oluşan SOC grafiği	8
1.5	Aktif dengeleme ile oluşan SOC grafiği	9
1.6	Enerji aktarım yöntemlerinin örnek çalışma devreleri	10
3.1	Kurşun asit batarya yönetim sisteminin bağlantısı	15
3.2	Kurşun asit batarya yönetim sisteminin sıcaklık sensörlerine bağlantısı .	15
3.3	12V Kurşun asit bataryaların açık devre gerilim - SOC tablosu	16
3.4	Akü gerilim okuma devre şeması	17
3.5	Akü gerilim okuma devresi basitleştirilmiş hali	18
3.6	ADC - Gerilim grafiği ve denklemi	19
3.7	Ortanca filitre algoritması	20
3.8	Akü gerilimi okuma algoritması	22
3.9	DC/DC izolatör ile aktif dengeleme şeması	25
3.10	AC/DC izolatör ile aktif dengeleme şeması	26
3.11	Kullanılan aktif balans devresi	27
3.12	ACS712 fonksiyonel blok diyagramı	28
3.13	Akım sınırlama devresi	30
3.14	Pasif dengeleme mantık devresi	31
3.15	Pasif dengeleme kullanılan devre	32
3.16	Donanım blok diyagramı	35
3.17	Alt katman görünümü	36

3.18 Üst katman görünümü	36
3.19 Devre kartı çıkışları	37
3.20 Devre kartı 3D modeli	37
3.21 Kullanılan buck converter devresi	39
3.22 Kaynakların anahtarlama devresi	39
3.23 Sistem akış şeması	41
4.1 BMS uygulama görüntüsü	48
4.2 Batarya 1'in aktif dengeleme anındaki akım grafiği	49
4.3 Batarya 2-3-4'ün aktif dengeleme anındaki akım grafiği	50
4.4 Batarya 1'in şarj anındaki akım ve gerilimi	51
4.5 Aktif dengeleme süresince batarya gerilim grafiği	51

SİMGELER DİZİNİ

Simgeler Açıklama

Ω	Ohm
t	Bataryanın deşarj süresi
k	1.3 civarında sabit değer
Q	1 amperle deşarj edildiğinde batarya kapasitesi

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklama
Pb	Kurşun
Sb	Antimuan
Ca	Kalsiyum
PbSO ₄	Kurşun sülfat
PbO	Kurşun oksit
PbO ₂	Kurşun dioksit
BMS	Batarya yönetim sistemi (Battery management systems)
AC	Alternatif akım
DC	Doğru akım
V	Volt
I	Akım
W	Watt
AH	Amper saat
SOC	Şarj durumu (State of charge)
ADC	Analog dijital dönüştürücü (Analog to digital converter)
PWM	Darbe genişlik modülasyonu (Pulse-width modulation)
WH	Watt saat (Watt hour)

1 GİRİŞ

1.1 Bataryalar

Elektrikli cihazlara güç sağlamak için harici bağlantıları olan bir veya daha fazla elektro-kimyasal hücreden oluşan bir elektrik gücü kaynağıdır. Türk dil kurumu sözlüğünde pil "kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren araç, batarya" olarak tanımlanmaktadır. Pil ve batarya eş anlamlıdır. Bataryalar enerji depolama sistemlerinde en yaygın kullanılan teknolojilerdir. Günlük hayatta birçok cihazın güç kaynağı olarak kullanılmaktadır.

Benjamin Franklin ilk olarak 1749'da "pil" terimini bir seri bağlantılı Leyden jar kapasitörleri kullanarak elektrikle deney yaparken kullanmıştır (Talbot & Peter, 2015). Enerji sağladıklarında artı uçları anot ve eksi uçları katot olmaktadır. Bir pilin kapasitesi, anma geriliminde sağlayabileceği elektrik yükü kadardır. Ne kadar çok elektrot malzemesi bulunursa kapasitesi o kadar artmaktadır. Kapasite amper-saat (A·h) birimi ile ölçülür. Bir kurşun asit batarya için akım, deşarj süresi ve kapasite arasındaki ilişki, Peukert yasasına göre yaklaşık olarak hesaplanır. Formül denklem 1.1'de verilmiştir.

$$t = \frac{Q_P}{I^k} \quad (1.1)$$

Bataryalar kendi aralarında jarj edilebilir ve şarj edilemez olarak 2 gruba bölünmektedirler. Şarj edilemeyen bataryalar tek kullanımlıktır. Bu tipler ters yönde kimyasal reaksiyon gerçekleştirmezler. Şarj edilebilir bataryalarda durum böyle değildir. Onlar ters yönde kimyasal reaksiyon gerçekleştirip yeniden kullanılabilirler. Tablo 1.1'de iki çeşite ait yaygın kullanılan modeller verilmektedir.

Şarj Edilebilir Bataryalar	Şarj Edilemeyen Bataryalar
Kurşun-asit	Çinko-karbon
Lityum-iyon	Çinko-klorid
Lityum-iyon polimer	Alkalin
Sodyum-sülfür (NaS)	Gümüş oksit
Nikel-demir	Lityum
Nikel metal hidrit (Ni-MH)	Cıva
Nikel-kadmiyum	Çinko-hava
Sodyum-metal klorid	Isıl (Termal)
Nikel-çinko	

Tablo 1.1: Batarya çeşitleri tablosu

”Batarya” terimi sıklıkla ”hücre” ile birbirinin yerine kullanılsa da, temel elektrokimyasal birim ”hücre”dir ve bir pil birbirine bağlı bir veya daha fazla hücreden oluşmaktadır. Hücreler, istenen çıkış voltajına ve kapasitesine bağlı olarak seri veya paralel veya her ikisi birden bağlantıları sağlanmaktadır. Bir hücre, elektrotlar, ayırıcılar, elektrolit, kap ve terminallerden oluşan bir düzenden oluşmaktadır(Linden, 2010). Bataryaların seri, paralel bağlanması sıkça uygulanan bir yöntemdir. Böylelikle gerilim ve amper-saat değerleri katlanır. Dolayısıyla şarj edilebilir bataryaların seri bağlı hatlar üzerinden şarj edilmesi için çeşitli uygulamalar geliştirilmiştir.

Batarya türlerinin kendi içerlerinde avantajları ve dez avantajları vardır. Maliyet, çevrim ömrü, raf ömrü, şarj hızı, çalışma sıcaklığı, bakım maliyeti ve geri dönüşüm gibi konular ele alınarak bataryalar kendi aralarında sınıflandırılabilir. Batarya türlerinin başlıca avantajları ve dezavantajları şekil 1.1’de verilmiştir.

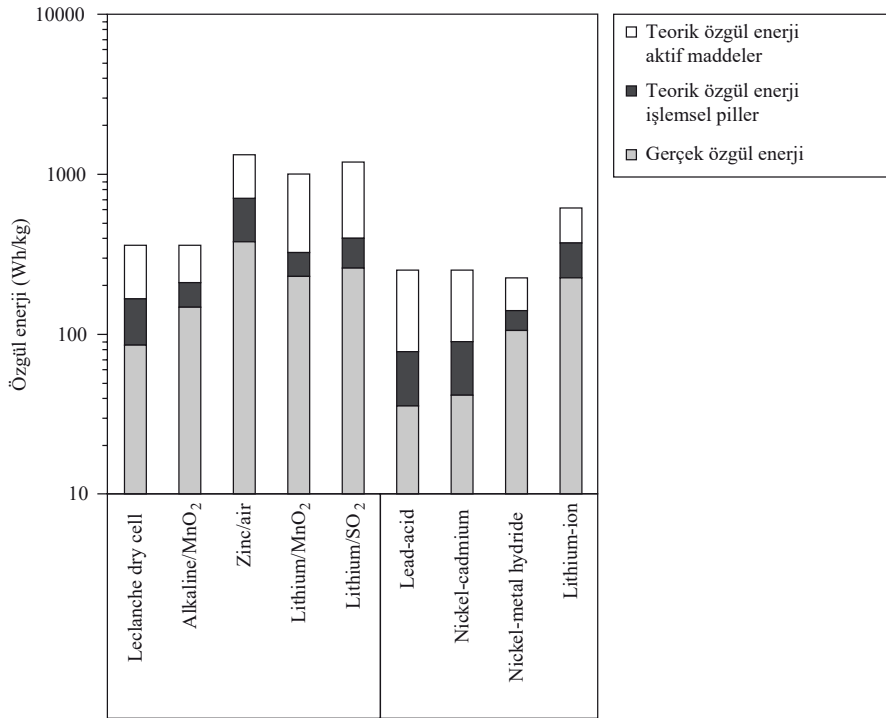
Batarya türü	Avantajlar	Dezavantajları
Lead-acid	Düşük maliyetli Çeşitli boyut ve tasarımlarda büyük miktarların mevcudiyeti Yüksek akü voltajı İyi yüksek-oranlı performans Aralıklı şarj uygulamaları için iyi şarj tutma Bakım gerektirmeyen tasarımlarda bulunabilirlik Pil bileşenlerinin yüksek geri dönüştürülebilirliği	Sınırlı enerji yoğunluğu Nispeten kısa çevrim ömrü Elektrotların geri dönüşü olmayan polarizasyonu (boşaltılmış bir durumda uzun süreli depolamadan sonra sülfasyon üretimi) Potansiyel hidrojen evrimi
Ni-Cd	Uzun çevrim ömrü Elektriksel ve fiziksel istismara dayanma yeteneği Mükemmel uzun süreli depolama Düşük bakım	Sınırlı enerji yoğunluğu Nispeten yüksek maliyet (kurşun asitli pillerle karşılaştırıldığında) Bellek etkisi Toksik element kadmiyumu içeren Kostik alkalın elektrolit içeren
Ni-MH	Nispeten yüksek enerji yoğunluğu İyi yüksek sıcaklık kapasitesi İyi yüksek-oranlı kapasite Uzun çevrim ömrü Uzun raf ömrü İyi şarj tutma Hızlı şarj özelliği Mühürlü bakımsız tasarım Yüksek voltajda çalıştırılabilen yüksek güvenlik Güvenli şarj ve deşarj, Hor kullanım içeren aşırı şarj ve aşırı deşarj dahil Çevresel olarak kabul edilebilir ve geri dönüştürülebilir malzemeler	Nispeten yüksek maliyet (kurşun asitli pillerle karşılaştırıldığında) Düşük sıcaklıkta düşük performans
Na-S	Nispeten yüksek enerji yoğunluğu Nispeten uzun çevrim ömrü Darbe gücü kapasitesi Yüksek kendi kendine deşarj direnci	Yüksek çalışma sıcaklığı Yüksek fiyat
Li-ion	Nispeten yüksek enerji yoğunluğu Düşük bakım ücreti Geniş çalışma sıcaklığı aralığı Uzun çevrim ömrü Uzun raf ömrü Hızlı şarj özelliği Hafıza etkisi yok Birçok olası kimya tasarım esnekliği	Nispeten yüksek maliyet Kötü yüksek sıcaklık performansı Koruyucu devre gereksinimi
Zinc-bromine	Nispeten yüksek enerji yoğunluğu Yüksek tasarım esnekliği Nispeten düşük maliyet Hızlı şarj yeteneği. %100 deşarj derinliği yeteneği	Potansiyel çinko dendrit oluşumu Kötü çevrim ömrü
Vanadium redox	Uzun çevrim ömrü Yüksek güvenlik Düşük işletme maliyeti ve bakım Derin deşarj yeteneği	Geniş alan gereksinimi Nispeten düşük enerji yoğunluğu
Polysulfide bromide	Hızlı tepki süresi	Sınırlı enerji yoğunluğu Nispeten düşük verimlilik Uzun süreli pil çalışması sırasında cross-contamination

Şekil 1.1: batarya türlerinin başlıca avantajları ve dezavantajları (Linden, 2010)

Bir hücrenin kapasitesi Ah dışında Wh bazında da değerlendirilebilir. Bu teorik enerji değeri, belirli bir elektrokimyasal sistemin sağlayabileceği maksimum değerdir. Denklem 1.2’de formülü verilmiştir(Linden, 2010).

$$\text{watt-saat (Wh)} = \text{gerilim (V)} \cdot \text{amper-saat (Ah)} \quad (1.2)$$

Batarya modelleri kendi aralarında farklı kapasitelere sahiptirler. Kapasitelerin ayırt edilebilmesi için kilogram başına düşen Wh miktarı Wh/kg birimi olarak ölçülmektedir. Bu birime özgül enerji adı verilmiştir. Şekil 1.2’de batarya cinslerinin özgül enerjileri verilmiştir.

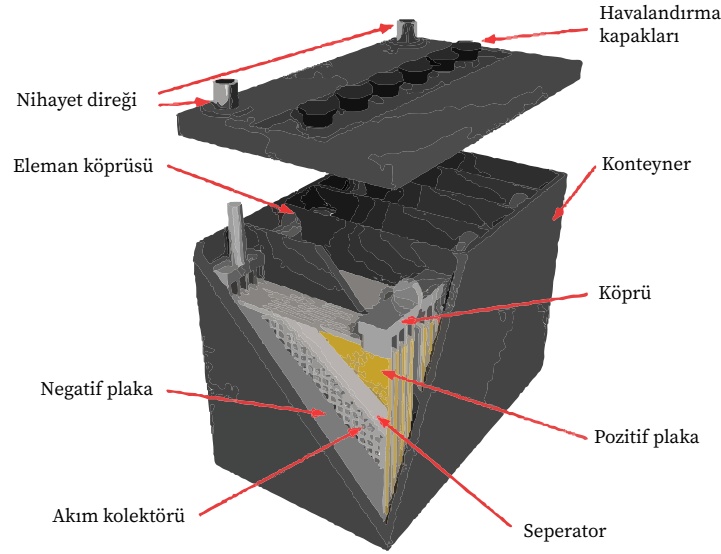


Şekil 1.2: Batarya sistemlerinin teorik ve gerçek özgül enerjisi(Linden, 2010)

1.1.1 Kurşun Asit Bataryalar

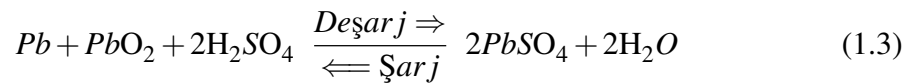
Kurşun asit bataryalar, fotovoltaik sistemlerde en sık kullanılan batarya tipidir. Kurşun asit bataryalar düşük enerji yoğunluğuna, sadece orta derecede verimlilik ve yüksek bakım gereksinimlerine sahip olsa da, diğer batarya tiplerine kıyasla uzun bir ömür ve

düşük maliyetlere sahiptirler. Kurşun asit bataryaların tekil avantajlarından biri, çoğu şarj edilebilir batarya uygulaması için (örneğin, otomobil motorlarında başlangıçta) en sık kullanılan batarya biçimi olması ve bu nedenle köklü, olgun bir teknoloji tabanına sahip olmasıdır(*Lead acid batteries*, n.d.). Kurşun asit bataryanın kesit görünümü şekil 1.3’de verilmiştir.



Şekil 1.3: Kurşun asit bataryanın kesit görünümü (Lach et al., 2019)

Kurşun asit batarya, uzun geçmişe sahip bir batarya teknolojisidir. Tipik olarak, kurşun-asit batarya, sırasıyla negatif elektrot, pozitif elektrot ve elektrolit olarak kurşun dioksit (PbO₂), metalik kurşun (Pb) ve sülfürik asit çözeltisinden (H₂SO₄) oluşur(Ahuja, Blo-mqvist, Larsson, Pyykkö, & Zaleski-Ejgierd, 2011). Şarj ve deşarj durumunda oluşan kimyasal denklem, Denklem 1.3’de verilmiştir.



Uygulamada, kurşun-asit batarya, 30-50 WH/kg enerji yoğunluğu ile %75-80 elekt-riksel geri dönüş etkinliğine sahiptir. Kurşun-asit bataryanın nominal gerilimi yaklaşık

2V'dur(Yang et al., 2011). Kurşun-asit bataryanın fiyatı 300-600 \$/kWh civarındır, bakım gerektirmeyen tasarımlara sahiptir, üretimi kolaydır ve batarya bileşenlerinin kolay geri dönüşümüne izin verir. batarya kurşununun % 97 oranı üstünde geri dönüştürülebilir(Linden, 2010).

1.2 Batarya Yönetim Sistemi

Bir BMS'nin ne olduğu ve bazen ne olduğu konusunda benzersiz bir tanım yoktur ve bazen BMS'de olan şey için gerilim yönetim sistemi (VMS) veya Koruma Devresi Modülü (PCM) gibi diğer terimler kullanılmaktadır. Burada, bir BMS'nin bir bataryayı bir şekilde ilgilenmek amacıyla kullanılan herhangi bir ürün veya teknoloji olduğu geniş görüşünü ele almaktayız. Bu, aşağıdaki işlevlerden herhangi birini içerebilir:

- Bataryayı izlemek;
- Bataryayı korumak için;
- Bataryanın durumunu tahmin etmek;
- Bataryanın performansını en üst düzeye çıkarmak;
- Kullanıcılara ve/veya harici cihazlara rapor vermek(Andrea, 2010).

Seri-paralel bağlı kurşun asit bataryalarda süreç zarfı içerisinde aküler yeni de olsa şarj problemi yaşanmaktadır. Seri - paralel olarak bağlanan bataryalardan birisi düzgün şarj edilmediği durumda diğer bataryaların da düzgün şarj edilmemesine sebep olmaktadır. Aynı zamanda düzgün şarj edilmeyen batarya arızalandığında kendisine bağlı diğer bataryaların da arızalanmasına sebep olmaktadır. Bu durum tüm batarya paketinin kullanım ömrünü kısaltmaktadır. Örneğin birbirine bağlı 4 seri bataryadan 1 tanesinin bozulması diğer 3 bataryanın da bozulmasına sebep olmaktadır. Batarya yönetim ve dengeleme sistemleri, şarj sırasında oluşabilecek batarya içi veya batarya dışı hatalara karşı koruma sağlamaktadır. Bir hata oluştuğunda hatanın tipini belirlemektedir ve gerekirse

şarjı durdurmaktadır. BMS olmadan yapılan şarj ve deşarjlar sonucunda bataryalar ol-
ması gereken kullanım ömürlerini tamamlayamadan bozulmaktadır ve hızlı bir şekilde
devre dışı kalmaktadır. Birbirine seri-paralel bağı kurşun asit bataryalarda yaşanan bu
olumsuzlukların önüne geçilebilmesi için farklı bir yöntemle pasif ve aktif dengeleme
yönetimini temel alan batarya yönetim sistemi geliştirilmiştir.

1.2.1 Dengeleme

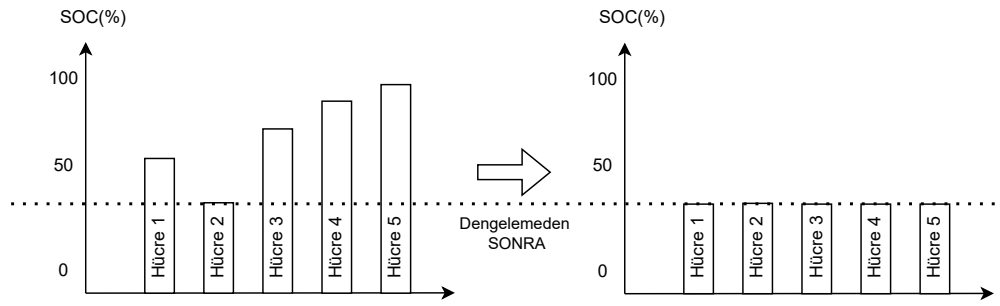
Batarya paketinin hücre SOC'lerinin dengelenmesi batarya yönetim sisteminin önce-
likli görevlerinden biridir. Dengeleme işleminde öncelik paketin şarj ve deşarj anında
tüm batarya hücrelerini aynı gerilim seviyesinde tutmaktır. Dengeleme işlemi aktif ve
pasif olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sistem, seri ve paralel bağı kurşun asit ba-
taryalar için aktif ve pasif dengelemenin tek bir batarya yönetim sisteminde olması
amacıyla geliştirilmiştir. Sistem hem pasif hem de aktif dengeleme devresine sahip-
tir. Batarya yönetim sistemi kartında bulunan pasif ve aktif dengeleme devreleri bütün
batarya hücrelerinin gerilimlerini okur ve en yüksekte aşağıya doğru gerilim seviyeleri
incelenmektedir. Bataryalar içerisinde en yüksek ve en düşük gerilim seviyesine sahip
bataryalar tespit edilmektedir. Standartlar dışında gerilim seviyesine sahip bataryalar
için pasif dengeleme ile deşarj veya aktif dengeleme ile şarj işlemi uygulanmaktadır.
Kritik seviyelerdeki gerilim seviyesine sahip (Örneğin 15V, 14.8V gibi) bataryalara şarj
işlemi gerçekleşmesi durumunda balans dirençleri devreye girerek bataryanın aşırı şarj
olmasını engellemektedir. Sistemde bulunan aktif dengeleme devresi, batarya hücre-
lerinin gerilim seviyelerinde oluşan dengesizliği enerji transferi yaparak ortalama bir
seviyede dengelemektedir. Aktif dengeleme AC/DC yada DC/DC güç kaynaklarından
sağlanabilmektedir. Hem pasif dengeleme hem de aktif dengeleme yapılarak şarj edilen
kurşun asit bataryaların ömrü uzamaktadır.

Sistemin hem pasif hem de aktif dengelemenin birlikte kullanıldığı bir batarya yöne-
tim sistemi olması benzerlerine göre avantaja sahiptir. Aynı zamanda aktif denge-

leme yapılırken tercih olarak DC/DC ve AC/DC dönüştürücüler kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Sistemin herhangi bir bataryanın aşırı şarj olmasını da engellemesi diğer bir avantajıdır.

1.2.2 Pasif Dengeleme

Pasif dengeleme sistemleri için dengeleme öncesi ve sonrası olmak üzere 2 grafikte hücre SOC'leri incelenmiştir. Pasif dengeleme yapıldıktan sonra oluşan SOC grafiği şekil 1.4'de verilmiştir.

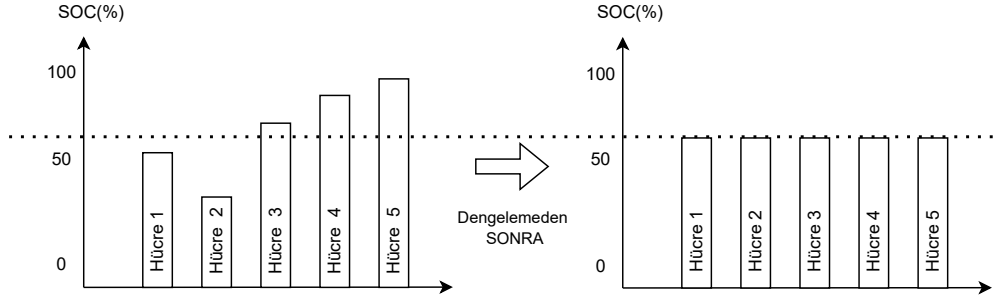


Şekil 1.4: Pasif dengeleme ile oluşan SOC grafiği (*How does cell balancing improve battery life*, 2022)

Pasif sistemlerde dengeleme hücelere bağlı şönt yük ile sağlanmaktadır. Dolayısıyla Enerji boşa harcanmaktadır, verimlilik düşüktür ve yavaş balans olmaktadır. Düşük maliyetli ve küçük ebatlarda olmaları sebebiyle yaygın şekilde kullanılmaktadırlar. Hücre enerjileri çoğunlukla ısıya dönüşmektedir.

1.2.3 Aktif Dengeleme

Beş hücreli seri bağlı bir batarya paketi için aktif dengeleme yapıldıktan sonra oluşan SOC tablosu şekil 1.5'de verilmiştir.

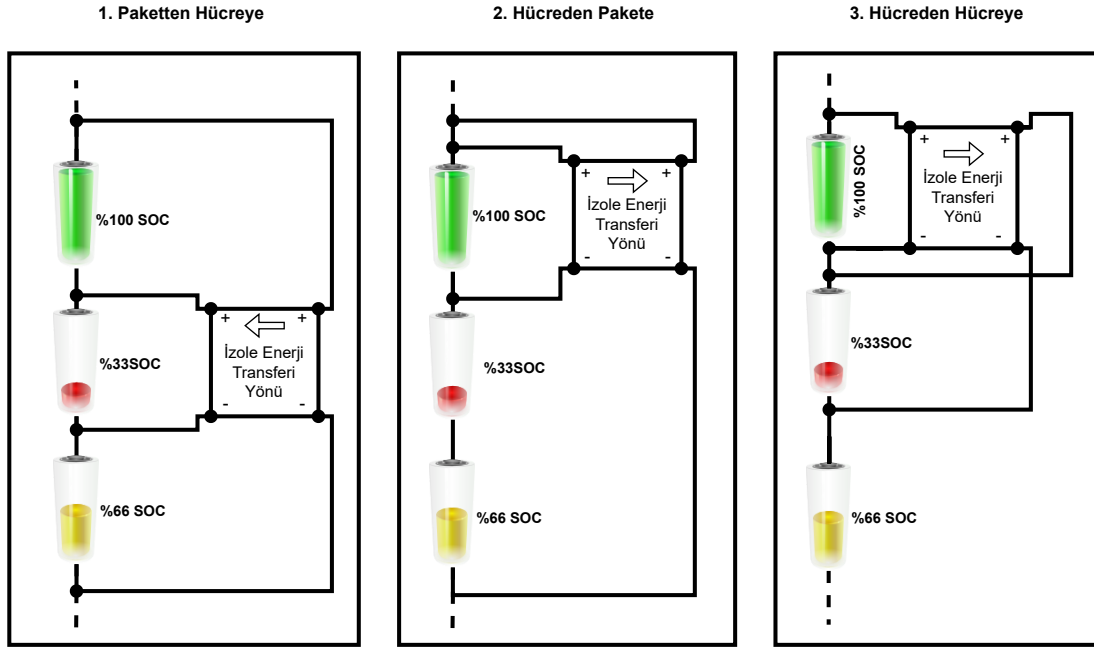


Şekil 1.5: Aktif dengeleme ile oluşan SOC grafiği (*How does cell balancing improve battery life, 2022*)

Aktif sistemlerde dengeleme için hücreler arası enerji aktarımı vardır. Bunun için aşağıdaki enerji aktarım yöntemlerinden en az birini içermektedir.

- Bir hücreden başka bir hücreye
- Batarya paketinden hücreye
- Hücreden batarya paketine

Şekil 1.6'da bu yöntemler için birer örnek mevcuttur. Üçlü batarya pakelerinin SOC değerleri %100, %66 ve %33'dür. Kayıpsız Aktif dengeleme sonrası bu değerlerin %66 ortalamada olması beklenmektedir.



Şekil 1.6: Enerji aktarım yöntemlerinin örnek çalışma devreleri

Dolayısıyla batarya paketinin ortalama SOC'nin altında kalan hücelere, üstünde kalan hücrelerden enerji aktarılır. Verimlilikleri yüksektir ve hızlı balans olurlar(Somavanshi, 2022).

2 LİTERATÜR ÖZETİ

Son yıllarda bataryaların kullanımının artmasıyla bu alanda yapılan çalışmalar hergün artmaktadır. Batarya yönetim ve dengeleme sistemleri konusunda, geçmişten günümüze yapılan detaylı literatür taraması socunda;

Kutkut, Nasser H., Herman LN Wiegman, Deepak M. Divan, ve Donald W. Novotny. "Charge equalization for an electric vehicle battery system." adlı yayınlarında multiwinding transformatör kullanarak seri bağlı kurşun asit batarya dengeleme sistemi geliştirilmiştir. Transformatör flyback mantığı ile çalışmaktadır. Batarya paketindeki hücre sayısı kadar bağımsız kaynak elde etmiştir(Kutkut, Wiegman, Divan, & Novotny, 1998).

West, Sean, ve Philip T. Krein. "Equalization of valve-regulated lead-acid batteries: issues and life test results." adlı yayınlarında UPS cihazları için seri bağlı valf regüleli kurşun asit aküler üzerinde (switching capacitor battery voltage equalizer) aktif dengelemesi yapılmıştır(West & Krein, 2000).

Krein, Philip T., Sean West, ve Cory Papenfuss."Equalization requirements for series vRLA batteries" yayınları "Equalization of valve-regulated lead-acid batteries: issues and life test results." adlı yayının devamı niteliğinde çıkmış. Aktif dengelemeyi switching capacitor battery voltage equalizer devresi ile uygulamaktadır(Krein, West, & Papenfuss, 2001).

Hsieh, Yao C., Chin S. Moo, I. S. Tsai, ve Jung C. Cheng. "Dynamic charge equalization for series-connected batteries." adlı yayınları, seri şarj şemasına sahip seri bağlantılı batarya bankaları için bir şarj eşitleme devresi önermektedir. Şarj eşitleme buck-boost

dönüşümüne dayanmaktadır. Her batarya ile ilişkili alt devre, aşırı şarj akımını doygun bataryalardan zayıf olanlara aktarmak için bir sürücü görevi görmektedir(Hsieh, Moo, Tsai, & Cheng, 2002).

Stuart, Thomas A., ve Wei Zhu. "Fast equalization for large lithium ion batteries." adlı yayınlarında büyük lityum-ion bataryalar için role kontrollü aktif pasif dengeleme yapmıştır. Hücre seçme roleleri üzerinden hücreyi şönt direncine yada şarj kaynağına ulaştırır(Stuart & Zhu, 2009).

Li, Peiying, Yutian Pan, Yanqiang Ma, ve Qingzhang Qin. "Study on an active voltage equalization charge system of a series battery pack." adlı yayınlarında hem aktif hem pasif dengeleme sistemi kullanılmıştır. (21,22,...,2N) olarak adlandırılan Solid roleler hedef hücreyi sönmleme direncine ulaştırır. (11,12,...,1N) olarak adlandırılan Solid roleler hedef hücreyi şarj cihazına ulaştırır. Tasarımda 220Vac bir kaynak sırasıyla doğrultucuya ,DC/DC dönüştürücüye ve şarj cihazına girer(Li, Pan, Ma, & Qin, 2011).

Prasad, KS Venkatesh, B. P. Divakar, ve P. Pavan Kumar. "Development of charge equalization circuit." adlı yayınlarında 3 adet batarya paketini üzerinde aktif şarj yöntemi kullanılmıştır. Aktif şarjı roleler kullanarak yapmaktadır. Aktif şarj yapılması için seri bağlantıyı sağlayan rolelerin açılması gerekmektedir(Prasad, Divakar, & Kumar, 2013).

Sagar, B. S., B. P. Divakar, ve KS Venkatesh Prasad. "Series battery equalization using sequential difference algorithm." adlı yayınlarında üç adet 12v valf ayarlı kurşun asit bataryayı aktif dengeleme sistemi ile dengeliyor. Sistem aküler seri bağlı iken SOC değerini okur. Şarj olacak hücreyi dengelemek için seri bağlantıdan çıkması gerekir.(Sagar, Divakar, & Prasad, 2014).

Bu taramanın yanı sıra güncel tasarımlara daha çok değer verilmiştir. Son 4-5 yılda aktif kullanılan geleneksel ve yenilikçi tasarımların incelenebilmesi için yapılan literatür taraması sonucunda;

Wang, Xieping, Zhiwei He, Mingyu Gao, Zhanxiong Wu, ve Dong Zhang. "A novel lead-acid battery equalization circuit based on multiple planar transformers." adlı yayınlarında seri bağlı 6'lı kurşun asit batarya paketi için aktif dengeleme sistemi vardır. Aktif dengeleme için her bataryanın paraleli için bir flyback devresi kullanmıştır. Flyback converterlar yüksek enerjiye sahip bataryaların gerilimlerini 6 kat yükselterek tüm batarya paketini şarj etmede kullanılmaktadır(Wang, He, Gao, Wu, & Zhang, 2018).

Fei, A. O., Dai Wen-liang, Xu Li-qiang, Huang Chun, Gu Xiang-wen, ve Chen Lin. "Research and Implementation on the Active Equalization for the Battery in the DC System." adlı yayınlarında aktif dengeleme sistemi kullanılmıştır. Bidirectional DC/DC izole kaynağı, switching matrix devresi ile seri bağlı LiFePO₄ batarya paketi içindeki hücreye bağlanmaktadır. Bidirectional olması sebebiyle bağlandığı hücreyi hem şarj hemdeşarj edebilmektedir(Fei et al., 2019).

DI, Yu-xiang, and Hai-jin CHEN. "A Novel Li-ion Battery Equalizer Circuit Design Based on LC Resonant Tank." adlı yayınlarında seri bağlı bir indüktör ile bir kapasitörü rezonansa sokarak batarya paketindeki hücreler arası enerji transferini gerçekleştirmiştir. Deneysel işlemleri matlab simulink üzerinden gerçekleştirmiştir(DI & CHEN, n.d.).

Liu, Yu, Chaoying Xia, Miao Gu, Wei Xin, and Xuming Men. "A novel active equalizer for Li-ion battery pack in electric vehicles." adlı yayınlarında batarya paketindeki müdahale edilecek hücreler anahtarlama ekipmanları vasıtasıyla bidirectional DC-DC converter devresine ulaşmaktadır. Converter hücre üzerindeki gerilimi izole bir şekilde yükselterek hücreden batarya paketine enerji aktarabilmektedir. Aynı zamanda batarya paketinden hücreye enerji aktarımı sağlayabilmektedir(Liu, Xia, Gu, Xin, & Men, 2019).

Gao, Mingyu, Jifeng Qu, Junfan Wang, Huipin Lin ve Minghao Wang. "Research on Symmetry Half-Bridge Switched Capacitor Active Equalization Circuit of Vehicle Power Lead-Acid Battery." adlı yayınlarında kurşun asit bataryalar için aktif dengeleme kullanılmıştır. Dengeleme devresi, simetrik bir half-bridge anahtar dizisinden, bir anah-

tar dizisi sürücü devresinden ve bir eşitleme kondansatör dizisinden oluşmaktadır(Gao, Qu, Wang, Lin, & Wang, 2020).

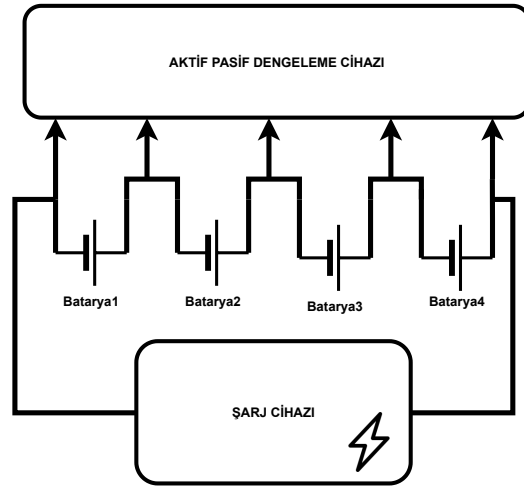
Bat-Orgil, Turmandakh, Bayasgalan Dugarjav, and Toshihisa Shimizu. "Battery Module Equalizer based on State of Charge Observation derived from Overall Voltage Variation." adlı yayında generation control circuit(Shimizu, Hirakata, Kamezawa, & Watanabe, 2001) GCC-type hücreden hücreye aktif dengeleme sistemi uygulanmıştır(Bat-Orgil, Dugarjav, & Shimizu, 2020).

Habib, AKM Ahasan, Mohammad Kamrul Hasan, Shayla Islam, Musse Mohamed Ahmed, Azana Hafızah Mohd Aman, Ashish Bagwari, and Sheroz Khan. "Voltage equalization circuit for retired batteries for energy storage applications." adlı yayınlarında kullanımdan kaldırılmış bataryalar için aktif dengeleme cihazı geliştirilmiştir. Hücreden hücreye enerji transferini seri bağlı kapasitör ve indüktör ile yapmaktadır. Seri bağlantı, PWM sinyalinin ile gerilimi yükselmektedir. Böylelikle enerji aktarımı sağlanmıştır(Habib et al., 2022).

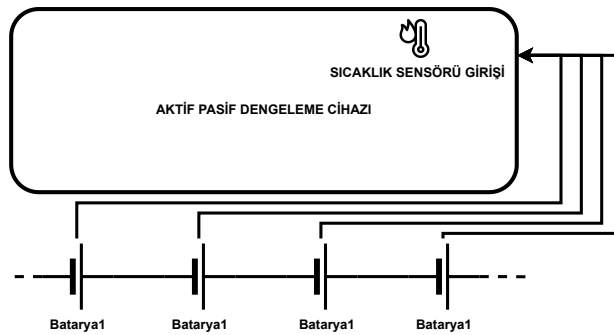
Bu çalışmalar gözlemlendiğinde tezimiz farklı olarak tasarlanan aktif dengeleme metodunun hem DC/DC hem AC/DC izole kaynakla çalışabilmesi, batarya sıcaklıklarının dijital kalibrasyon gerektirmeyen sensörler tarafından okunması ve enerji verimliliği konusunda benzersizdir.

3 PROJENİN UYGULAMASI

Tasarım ilk olarak 4 adet seri bağlı 12V sulu tip kuşun asit batarya üzerinde uygulanmıştır. Bataryaların tasarladığımız batarya yönetim sistemine bağlantısı şekil 3.1’de ve şekil 3.2’de gösterilmiştir.

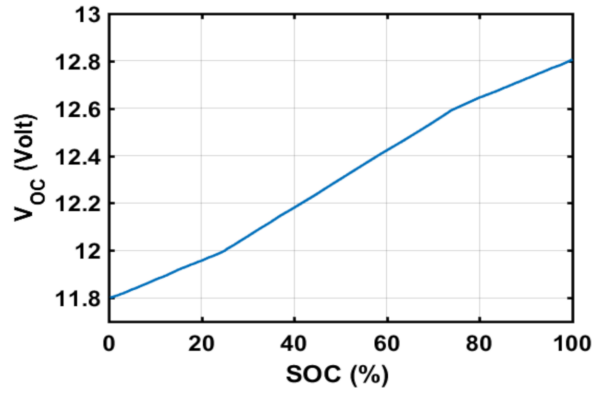


Şekil 3.1: Kurşun asit batarya yönetim sisteminin bağlantısı



Şekil 3.2: Kurşun asit batarya yönetim sisteminin sıcaklık sensörlerine bağlantısı

Bataryaların anlık sıcaklık, gerilim değerleri okunmaktadır. Okunan değerler üzerinden çıkarım yaparak aktif pasif dengeleme ihtiyacının tespiti sağlanmaktadır. Belirli bir seviyeden düşük SOC'ye sahip batarya olması durumunda aktif dengeleme ve belirli bir seviyenin bu sefer üstünde SOC'ye sahip batarya için pasif dengeleme metodu uygulanmaktadır. Bu metod sayesinde batarya paketlerinin verimliliği artmaktadır. Kurşun asit bataryaların SOC - gerilim durumu Şekil 3.3'de verilmiştir.

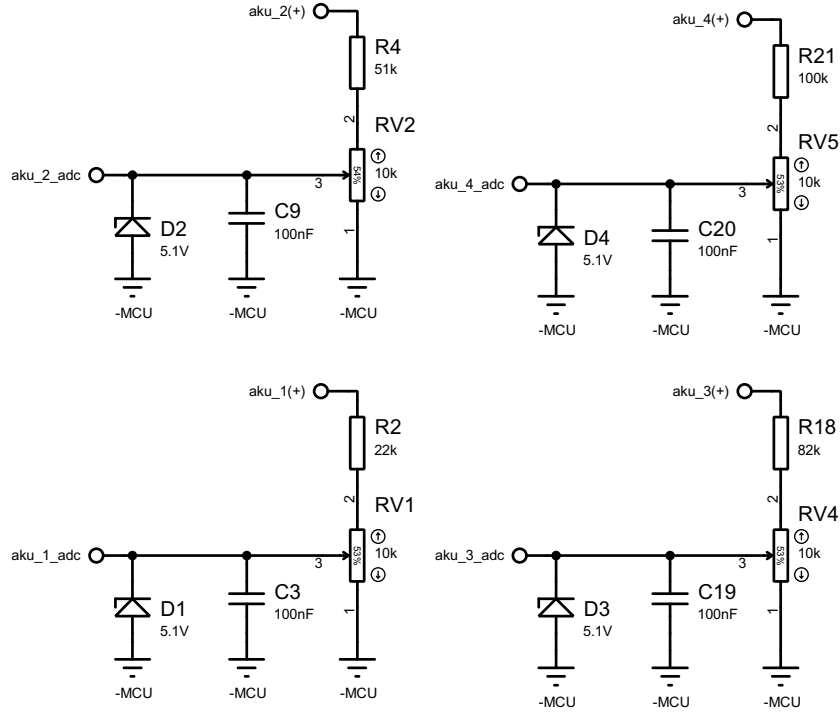


Şekil 3.3: 12V Kurşun asit bataryaların açık devre gerilim-SOC tablosu(Qays et al., 2020)

Tablodan anlaşılan 11.8V bir kurşun asit batarya tamamen deşarj olmuş demektir. Sisteme takılan 4 bataryanın gerilimlerinin ortalamasının altında kalan bir akünün aktif balans yöntemi ile şarj edilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda seri bağlı akü paketlerinde karşılaşılan akü çökmesi olarak tabir edilen husus için geliştirmiş olduğumuz aktif dengeleme yöntemi devreye girecek bu sayede çökme işlemine karşı koruma sağlanacaktır.

3.1 Akü Gerilimlerinin Okunması

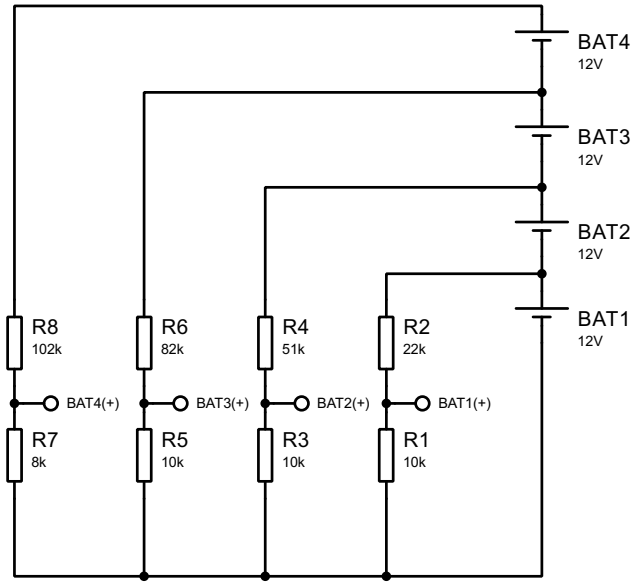
Eşit 12V gerilimlere sahip bir batarya paketi gözönüne alındığında seri olarak bağlandığında 4x12V batarya paketi bize 48V gerilim üretmektedir. Her bir gerilim kademesi için ayrı gerilim bölücü devresi kullanılmaktadır. Kullanılan gerilim bölücüler şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4: Akü gerilim okuma devresi

Sistem direnç hassasiyeti gerektirdiğinden çok turlu potansiyometre kullanılmıştır. Analog okumada kullanılan mikroişlemci pinleri 5V toleranslıdır. Dolayısıyla bir bataryanın geriliminin fazla yükselmesi mikroişlemci katına zarar vericektir. Her ne kadar 15V'a kadar yükselen bir bataryanın gerilim bölücünden çıkışı 5V seviyesinin altında kalsada güvenlik için zener diyotların kullanılması pin hattındaki gerilimi 5.1V seviyesinin üstüne çıkmasını engellemektedir.

Seri bağlı bağlı aküleri ve ayarlanmış potansiyometreli gerilim bölücülerin eşdeğer şeması şekil 3.5'de verilmiştir.

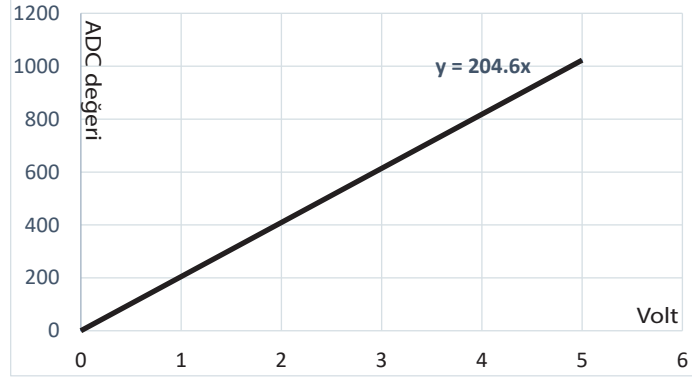


Şekil 3.5: Akü gerilim okuma devresi basitleştirilmiş hali

Çizimdeki 4 adet referans noktasındaki okunan değer sırasıyla BAT1, BAT2, BAT3, BAT4'ün gerilimleri şeklinde değildir çünkü şemadaki BAT2(+) referans noktasından aldığımız gerilim bize BAT1 + BAT2'yi vermektedir. Dolayısıyla noktadan BAT(1) gerilimini çıkararak BAT2 voltajına ulaşabiliriz.

3.1.1 ADC Okuma

Analog pinlerin 10bit çözünürlüğü bulunmaktadır. Okunan dataların akü gerilimlerine çevirilebilmesi için bir matematiksel dönüşüme ihtiyacı vardır. 5V'luk bir gerilimin işlemcisi maksimum adc değeri olan 1023 sayısına denk gelmektedir. Bu değer bize 5V'un 1023'e bölümü olan yaklaşık 4.9mV her adc değerine karşılık gelen gerilimi verir. Şekil 3.6'daki denklemden anlaşılacağı üzere okunan ADC değerini 204.6'ya bölerek gerilim bölücüdeki gerilim değerine ulaşabiliriz.



Şekil 3.6: ADC - Gerilim grafiği ve denklemi

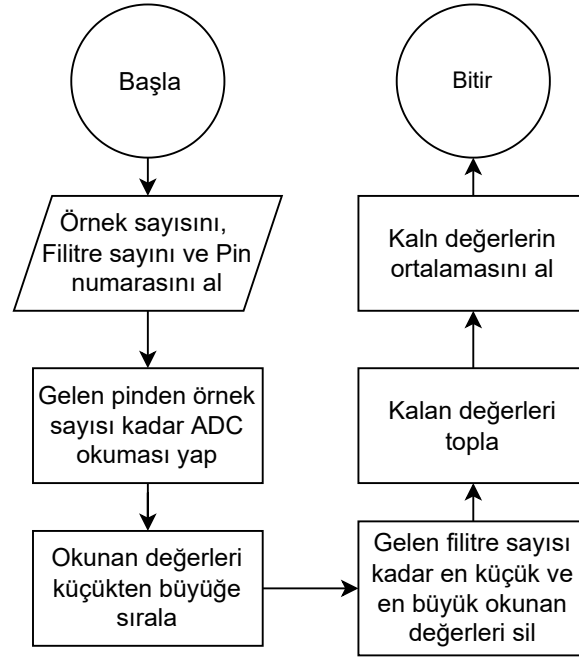
3.1.2 Ortanca Filtresi (Median Filter)

Medyan filtresi, genellikle bir görüntüden veya sinyalden gürültüyü çıkarmak için kullanılan doğrusal olmayan bir dijital filtreleme tekniğidir. Bu gürültü azaltma, daha sonraki işlemlerin sonuçlarını iyileştirmek için tipik bir ön işleme adımıdır (örneğin, bir görüntüde kenar tespiti). Medyan filtreleme dijital görüntü işlemede çok yaygın olarak kullanılmaktadır, çünkü belirli koşullar altında, gürültüyü çıkarırken kenarları korur, ayrıca sinyal işleme uygulamalarına sahiptir (*Median filter*, 2021).

Okunan analog değerleri donanımsal filitrenin yanında yazılımsal olarakta filitreye sokulması bize daha doğru gerilim sonuçları vericektir.

3.1.3 Ortanca Filtre Algoritması

Ortanca filitresi algoritması şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7: Ortanca filitre algoritması

3.1.4 Ortanca Filtre Yazılımı

Kullanılan Ortanca filitre c++ yazılımı aşağıdadır.

```

1 int MedianFilter(int ornek, int pin, int filtre)
2 {
3   int i = 0;
4   adc_ort = 0;
5   for (i = 0; i < ornek; i++)
6   {
7     dd[i] = Adc_Get_sample(pin);
8     delay_us(1);
9   }
10  i = 0;
  
```

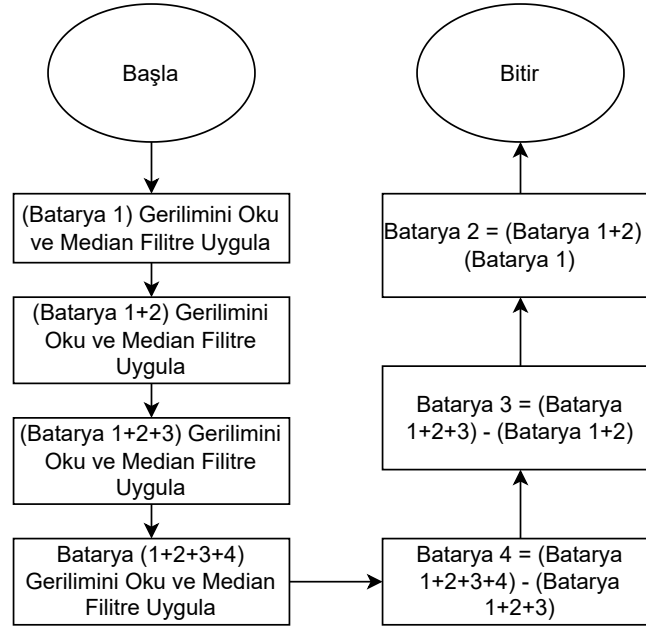
```

11 for (k = 0; k < ornek; k++)
12 { //diziyi buyuktan kucuge sirala
13     for (j = 0; j < ornek; (j)++)
14     { //k=0 ve j=1 için olan durumu inceleyelim.
15         //dd0 değeri dd1'den büyük ise dd0 ile dd1 degerlerin
16         //yer degistiriyor.
17         if (dd[k] > dd[j])
18         {
19             g = dd[k];
20             //buyuk olan degeri g ye kopyalıyor.
21             dd[k] = dd[j];
22             //dd1'deki kucuk olan degeri dd0'a yukluyor.
23             dd[j] = g;
24             //dd1'ede dd0 daki b"Uy"Uk degeri yukluyor.
25         }
26     }
27 }
28 toplam = 0;
29 //siralanan dizinin en buyuk ve kucuk degerlerini sil
30 //kalan degerleri topla
31 for (k = filtre; k < (ornek - filtre); (k)++)
32 {toplam = toplam + dd[k];}
33
34 adc_ort = toplam / (ornek - (filtre << 1));
35 // kalan degerlerin ortalamasini al
36 delay_ms(1);
37 return adc_ort;
38 }
39

```

3.1.5 Gerilim Okuma Algoritması

Gerilimlerin okunduğu algoritma şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8: Akü gerilimi okuma algoritması

3.1.6 Gerilim Okuma Yazılımı

Gerilimlerin okunduğu c++ yazılımı aşağıdaki gibidir. Yazılım Batarya gerilimlerinin okunduğu void fonksiyonunu içermektedir.

```
1 void akuokuma()
2 {
3   MedianFilter(15,AKU1_ADC,3);
4   BATARYA1 = (float)adc_ort/204.6;
```

```

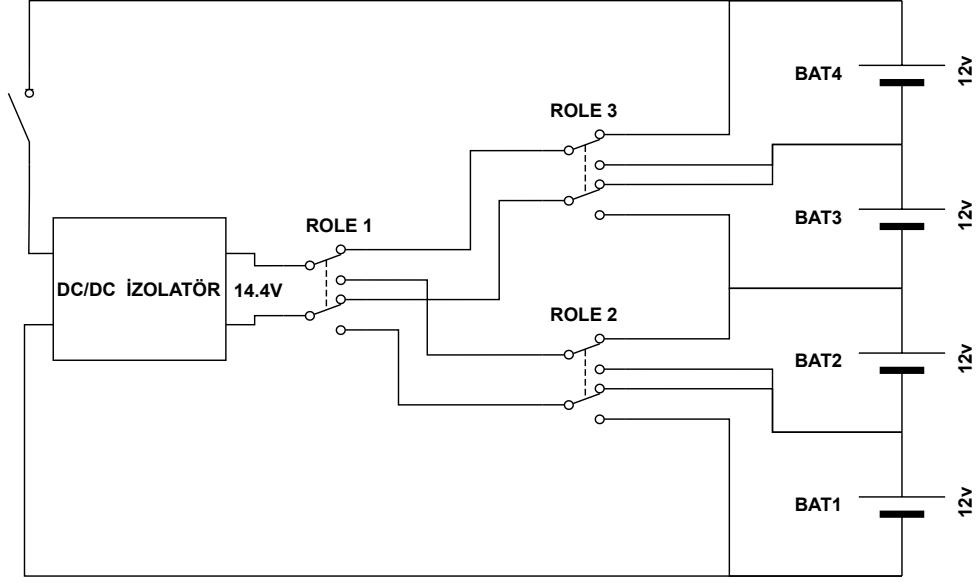
5  BATARYA1 = BATARYA1 * 3.2; // 22k 10kpot gerilim bolucu
6
7  MedianFilter(15,AKU2_ADC,3);
8  BATARYA2 = (float)adc_ort/204.6;
9  BATARYA2 = BATARYA2 * 6.1; // 51k 10kpot gerilim bolucu
10
11 MedianFilter(15,AKU3_ADC,3);
12 BATARYA3 = (float)adc_ort/204.6;
13 BATARYA3 = BATARYA3 * 9.9; // 82k 10kpot gerilim bolucu
14
15 MedianFilter(15,AKU4_ADC,3);
16 BATARYA4 = (float)adc_ort/204.6;
17 BATARYA4 = BATARYA4 * 13.75; // 22k 10kpot gerilim bolucu
18
19 BATARYA4 -= BATARYA3;
20 BATARYA3 -= BATARYA2;
21 BATARYA2 -= BATARYA1;
22
23 batary[0]=BATARYA1;
24 //0 numarali diziye ilk batarya voltajini yaziyoruz
25 batary[1]=BATARYA2;
26 //1 numarali diziye 2. batarya voltajini yaziyoruz
27 batary[2]=BATARYA3;
28 //2 numarali diziye 3. batarya voltajini yaziyoruz
29 batary[3]=BATARYA4;
30 //3 numarali diziye 4. batarya voltajini yaziyoruz
31
32 Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
33 Lcd_Out(1,1,"BAT1_VOLT=");

```

```
34 floattostr(BATARYA1,txtvolt);
35 Lcd_Out_Cp(txtvolt);
36 Lcd_Out(2,1,"BAT2_VOLT=");
37 floattostr(BATARYA2,txtvolt);
38 Lcd_Out_Cp(txtvolt);
39 Lcd_Out(3,1,"BAT3_VOLT=");
40 floattostr(BATARYA3,txtvolt);
41 Lcd_Out_Cp(txtvolt);
42 Lcd_Out(4,1,"BAT4_VOLT=");
43 floattostr(BATARYA4,txtvolt);
44 Lcd_Out_Cp(txtvolt);
45 Delay_ms(500);
46 }
47
```

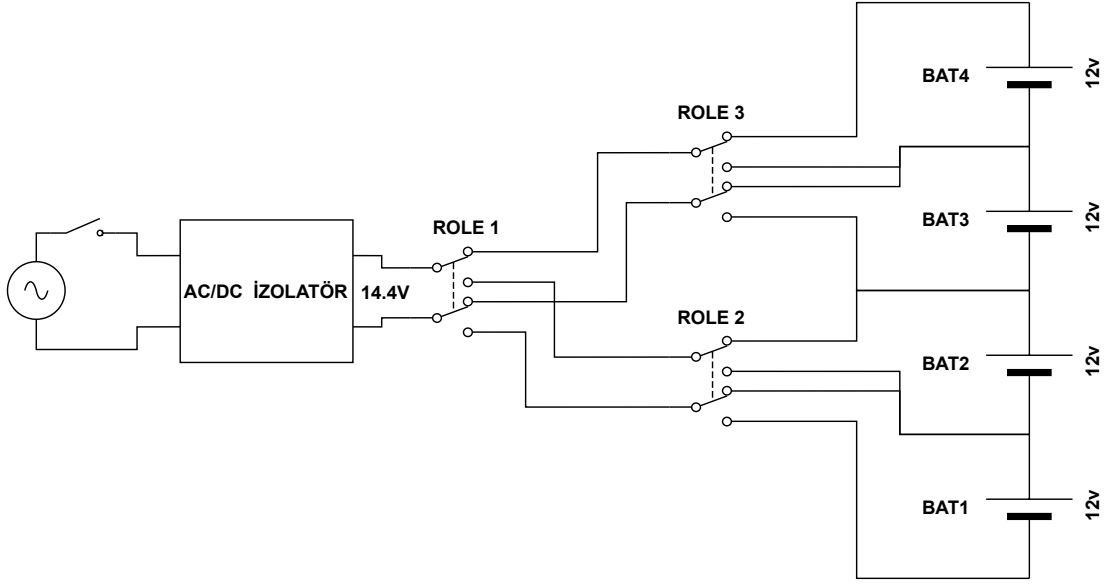
3.2 Aktif Dengeleme Devresi

Aktif dengeleme için bir DC/DC izole kaynak şekil 3.9'deki gibi kullanılır.



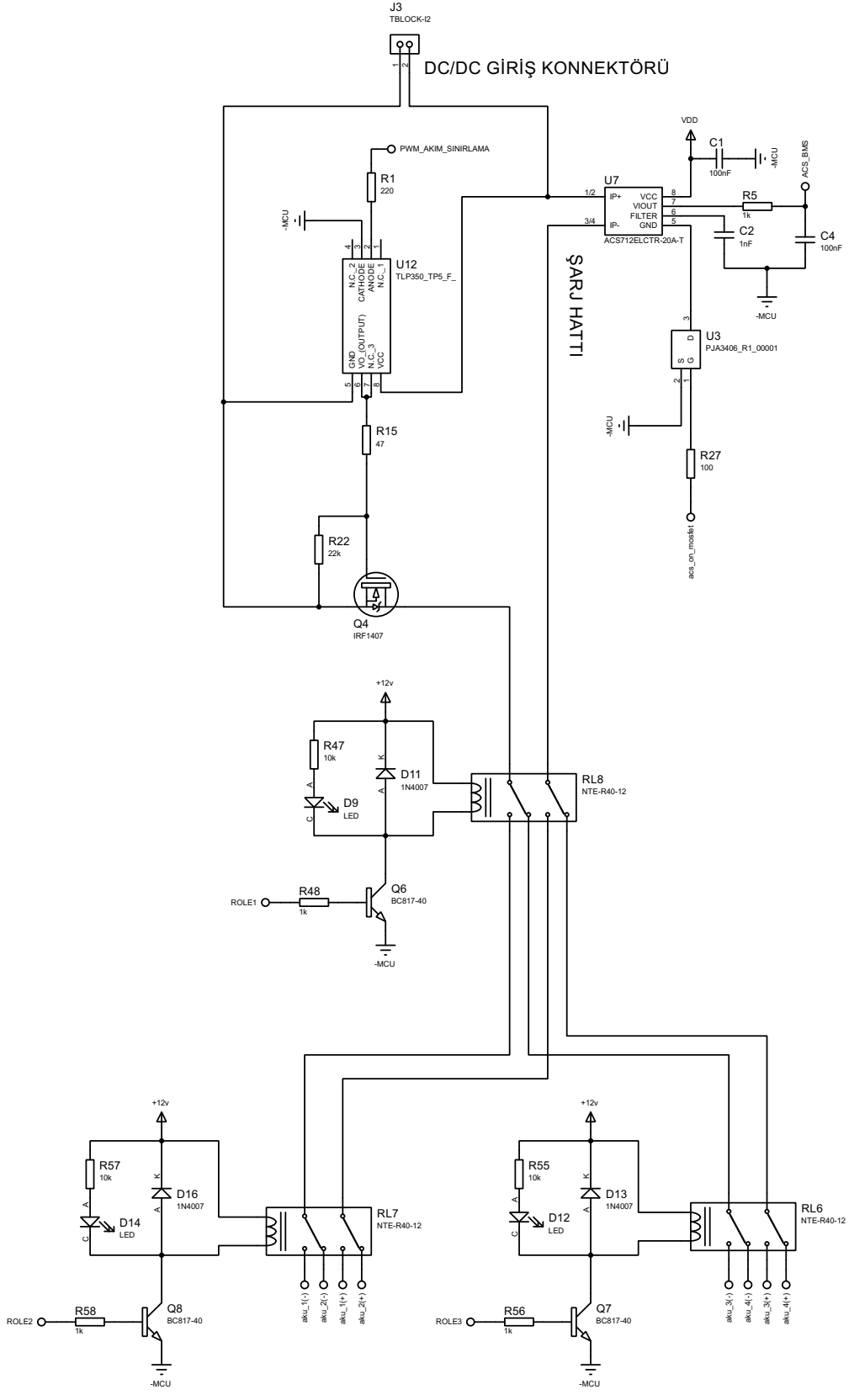
Şekil 3.9: DC/DC izolatör ile aktif dengeleme şeması

4 numaralı bataryanın artı kutbu ile 1 numaralı bataryanın eksi kutbu dc/dc izole kaynağa bağlanır. Kaynağın önüne şarj dışında çalışmaması için bir anahtar koyulur. ROLE1, ROLE2 ve ROLE3 şarj edilecek bataryaya giden akım yolunu belirlemektedir. DC/DC izole dönüştürücünün girişine gelen 36-72V aralığındaki gerilimler çıkışta 14.4V'a sabitlenmektedir. AC/DC izole kaynak kullanıldığı durum şekil 3.10'de verilmiştir.



Şekil 3.10: AC/DC izolatör ile aktif dengeleme şeması

AC/DC dönüştürücü girişi inverter çıkışına bağlanır. İkisi arasında bir anahtar vasıtası ile sistem aktif hale gelir. Bütünüyle uygulama devresi şekil 3.11’de verilmiştir.

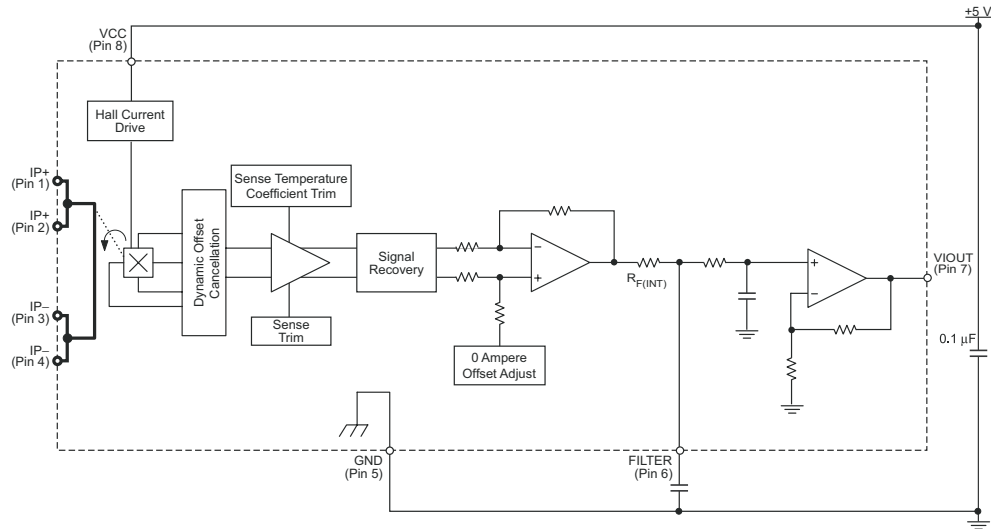


Şekil 3.11: Kullanılan aktif balans devresi

Devrede rollerin anahtalanması için transistörler anahtarlandı ve kontak durumlarının anlaşılması için LED göstergeleri role bobinlerinin paralelinde kullanıldı. Şarj akımının okunması için hall effect tabanlı doğrusal akım sensörü kullanıldı. Şarj akımının sınırlandırılması için PWM sinyali ile mosfet anahtarlandı.

3.2.1 Akım Okuma

Allegro™ ACS712, endüstriyel, ticari ve iletişim sistemlerinde AC veya DC akım algılaması için ekonomik ve hassas çözümler sunar. Cihaz paketi, müşteri tarafından kolay uygulamaya izin verir. Tipik uygulamalar arasında motor kontrolü, yük algılama ve yönetimi, switchmode güç kaynakları ve aşırı akım arıza koruması bulunur. Cihaz otomotiv uygulamaları için tasarlanmamıştır(ACS712: Fully integrated, hall-effect-based linear current sensor IC with 2.1 kVrms voltage isolation and a low-resistance current conductor, n.d.).



Şekil 3.12: ACS712 fonksiyonel blok diyagramı(ACS712: Fully integrated, hall-effect-based linear current sensor IC with 2.1 kVrms voltage isolation and a low-resistance current conductor, n.d.)

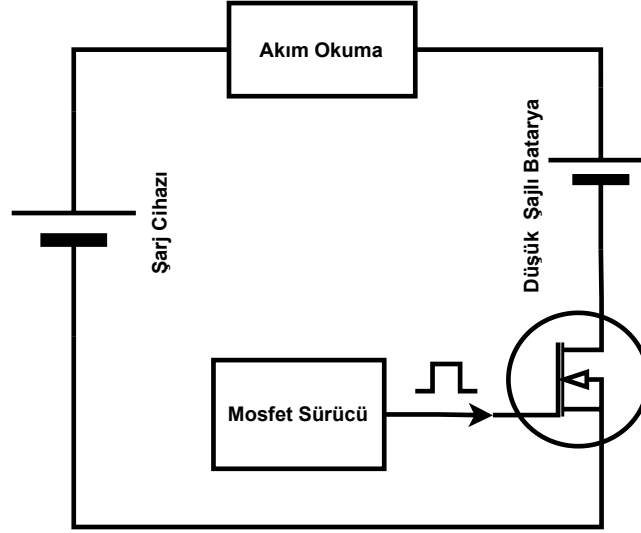
Part Number	TA (°C)	Optimized Range, IP (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20B-T	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30B-T	-40 to 85	±30	66

Tablo 3.1: ACS712 seçim kılavuzu

Şarj hattının izole dc kaynak ile beslendiği için uygun bir akım sensörü kullanılması gerekmektedir. ACS712 sensörünün en büyük avantajlarından biri akım geçen yerden izole okuma yapılabilmesidir. Devresinde kullanılması gereken bir şönt direnç yoktur. Akımın entegrenin 1 ve 2 nolu pinlerden girip 3 ve 4 nolu pinlerden çıkması gerekmektedir. Bu pinler arası iç direnç değeri 1.2mΩ'dur. Sensör geçen ampere göre analog çıkış vermektedir. Akım okuma yani VIOUT pinindeki 2.5 voltluk gerilim bize geçen akımın sıfır amper olduğunu göstermektedir. Bu değer geçen akımın IP+ adlı pinlerden girdikçe artmakta, yön değiştirip IP- pinlerden girdikçe azalmaktadır. Böylelikle ADC modülü ile geçen akım okunmaktadır. Geçen akım başına artan azalan mV değeri tablo 3.1'de verilmiştir. Mevcut uygulamada ACS712ELCTR-05B-T modeli kullanılmış olup devremize tablo 3.1'deki diğer entegrelerin yerleştirilme olanağı mevcuttur(ACS712: Fully integrated, hall-effect-based linear current sensor IC with 2.1 kVrms voltage isolation and a low-resistance current conductor, n.d.).

3.2.2 Akım Sınırlama

Akım sınırlaması için Akü ile şarj cihazı arasında pwm sinyali ile mosfet anahtarlanmıştır. şekil 3.13’de devresinin basit hali verilmiştir.

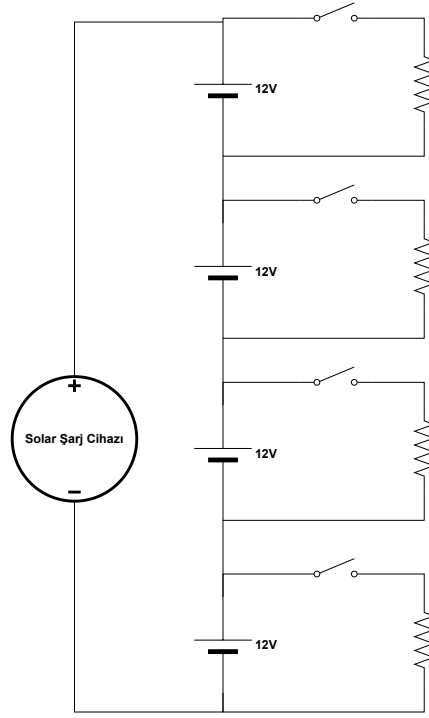


Şekil 3.13: Akım sınırlama devresi

PWM duty oranı şarj akımını belirlemektedir. Akım sensöründen alınan bilgilere göre belirlenen şarj akımında şarj işlemi uygulanır.

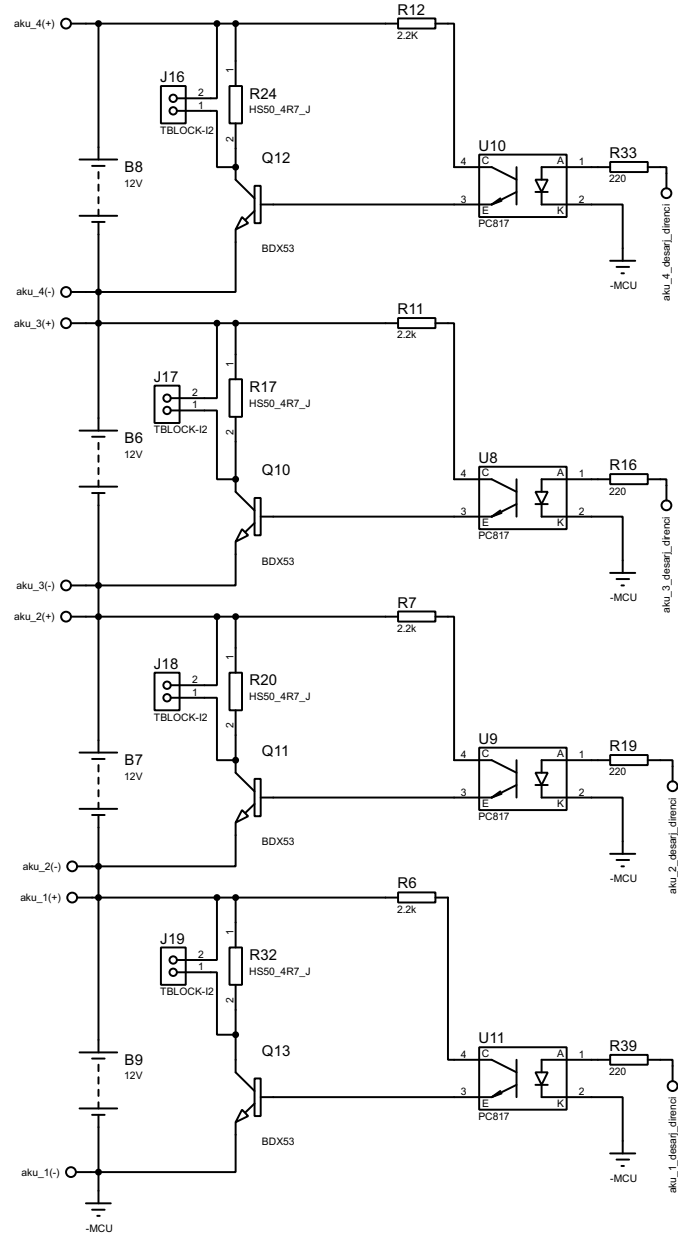
3.3 Pasif Dengeleme Devresi

Pasif eşitleme yöntemleri direnç tüketim dengesine dayanmaktadır. Hücre enerjileri aynı anda deşarj edilebilir, böylece denge durumuna daha hızlı ulaşılabilir. Ancak dezavantajı, büyük enerji tüketimi nedeniyle verimliliğin çok düşük olmasıdır.(Rui, Lizhi, Xueli, Qiang, & Jie, 2015). Pasif dengeleme mantık devresi şekil 3.14’de verilmiştir.



Şekil 3.14: Pasif dengeleme mantık devresi

Kullanılan pasif dengeleme devresi şekil 3.15’de verilmiştir.



Şekil 3.15: Pasif dengeleme kullanılan devre

Anahtarlama transistörlerinin açılmasıyla fazla enerji ısıya dönüşür ve sistem denge-

lenir. Direnç soğutması için paralellerine dc fan çıkışı vardır. Kullanılan direnç özellikleri 50 Watt 4.7Ω 'dur. Denklem 3.1'den yola çıkarak 3.26 Ampere kadar akımları çekebilmektedir.

$$\sqrt{\frac{P}{R}} = I \quad (3.1)$$

3.4 Sıcaklık Okuma

Tasarımda kalibrasyona ihtiyaç duymayan ve tamamen dijital ds18b20 sensörü kullanılmaktadır. Birden çok sensör tek bir noktadan bağlantı sağlayabilmektedir.

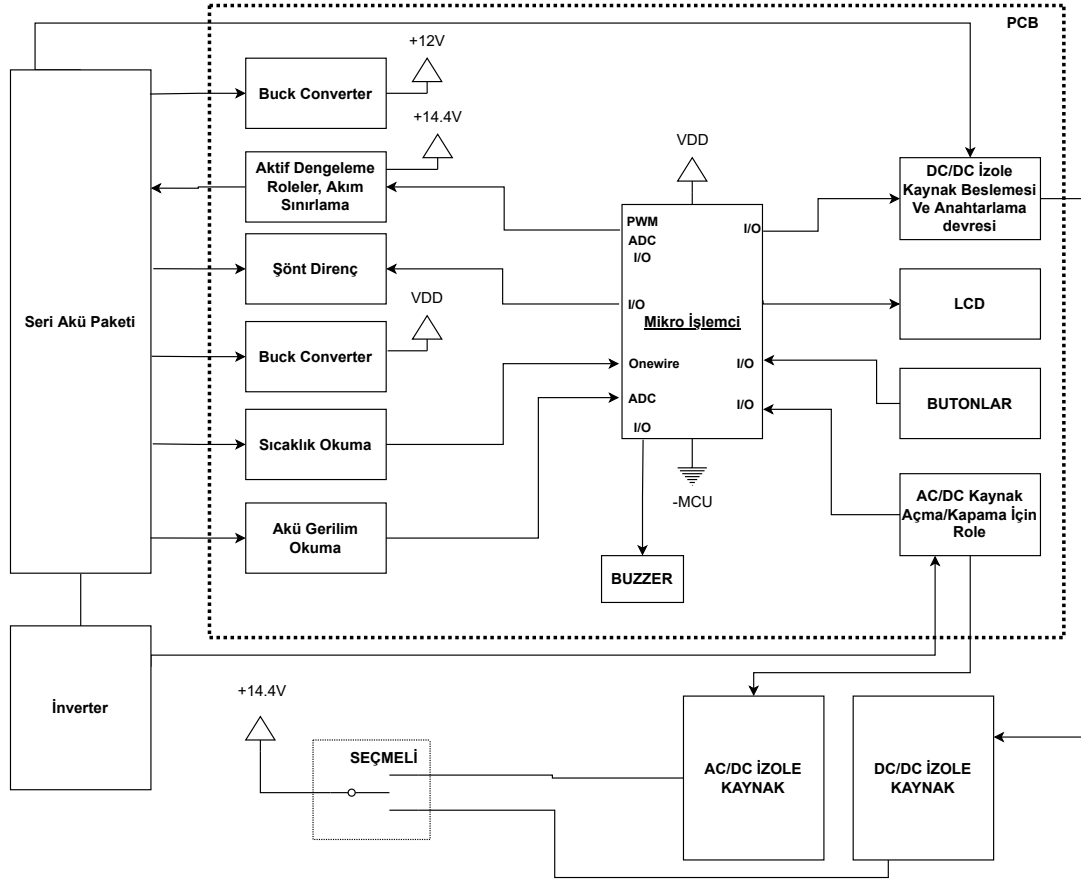
DS18B20 dijital termometresi, 9 bit ila 12 bit Celsius sıcaklık ölçümleri sağlar ve kalıcı kullanıcı tarafından programlanamayan üst ve alt tetik noktaları ile alarm işlevine sahiptir. DS18B20, tanım gereği merkezi bir mikroişlemci ile iletişim için yalnızca bir veri hattı (ve toprak) gerektiren 1 telli bir veri yolu üzerinden iletişim kurar. Buna ek olarak, DS18B20, doğrudan veri hattından (“parazit gücü”) güç elde edebilir ve harici bir güç kaynağı ihtiyacını ortadan kaldırabilir. Her DS18B20, birden fazla DS18B20S'nin aynı 1 telli veri yolunda çalışmasına izin veren benzersiz bir 64 bit seri kodu vardır. Bu nedenle, geniş bir alanda dağıtılan birçok DS18B20s'yi kontrol etmek için bir mikroişlemci kullanmak kolaydır. Bu özellikten yararlanabilecek uygulamalar arasında HVAC çevre kontrolleri, binaların içindeki sıcaklık izleme sistemleri, ekipman veya makineler ve proses izleme ve kontrol sistemleri bulunmaktadır (“DS18B20 programmable resolution 1-wire digital thermometer: Maxim Integrated”, 2019).

3.5 Donanım

Donanım için 2 katlı endüstriyel pcb tasarlanmış ve üretilmiştir. Tasarlanan devre kartına harici 150W lık DC/DC izole kaynak bağlanmıştır. Pcb üzerinde bulunan donanım birimleri ve açıklamaları aşağıda verilmiştir.

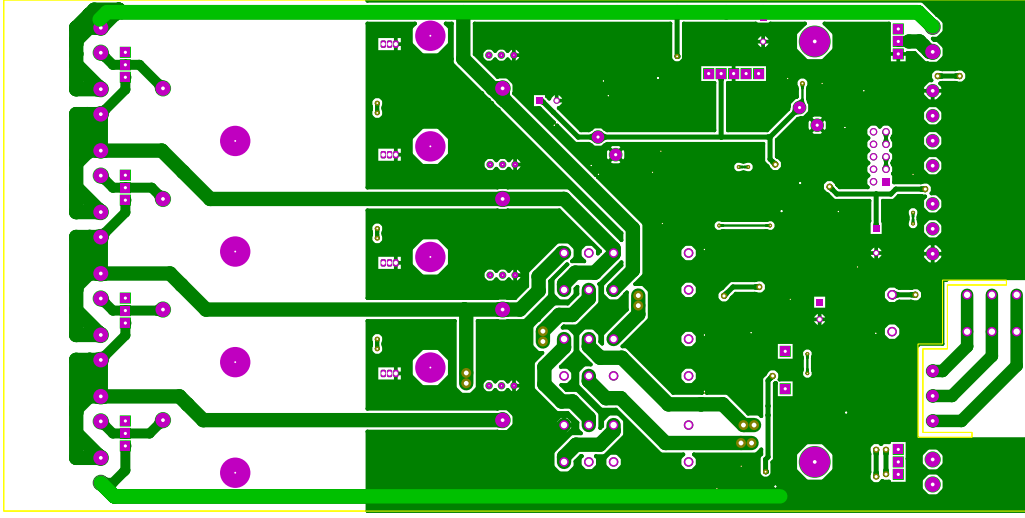
- Her bataryanın paraleline bağlanacak şekilde 50W şönt direnç ve izole gate sürücü devreleri bulunmaktadır.
- Sıcaklık okuma sensörü, 4X20 LCD ve buton bağlantı konnektörleri bulunmaktadır.
- Batarya gerilim okuma devresi ile Aktif dengeleme devresi pcb üzerindedir.
- DC/DC ve AC/DC izole kaynakların giriş güçlerinin anahtarlama devresi pcb üzerinde kullanılmıştır.
- Buzzer sesli ikaz devresi bulunmaktadır.
- LM5008 entegresi ile 5V ve 12V gerilim çıkışları için 2 adet buck convertor devresi kullanılmıştır. 5V, mikroişlemci, sıcaklık sensörleri, LCD, butonlar, buzzer ve akım okuma devresi beslemesinde kullanılmıştır. 12V, roleler ve mosfet gate sürücü beslemesinde kullanılmıştır.

Bu donanımlar anlaşılabilirlik açısından blok diyagramı üzerinde gösterilmiştir. Diyagram, şekil 3.16'da verilmiştir.

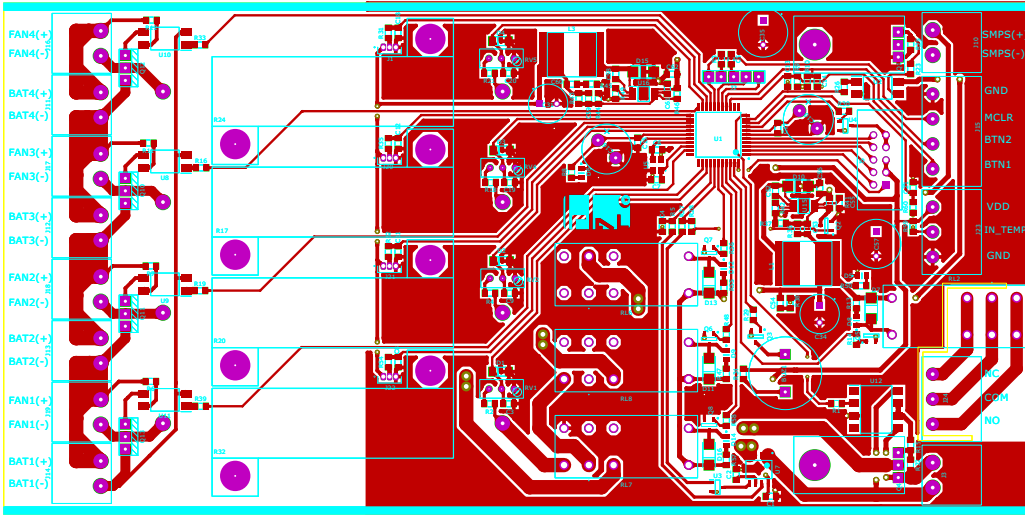


Şekil 3.16: Donanım blok diyagramı

Donanım iki tip izole güç kaynağını kontrol edebilmektedir. Uygulamada ikisinden biri seçilip kullanılmalıdır. AC/DC dönüştürücü kullanılması durumunda solar sistemlerine ait inverter çıkışına bağlanmaktadır. Mikro işlemci batarya paketinden gelen sıcaklık, gerilim değerlerini okumaktadır. Kullanıcı denge durumunu LCD ekran üzerinden görmektedir. Dengeleme donanımları mikro işlemci ile kontrol edilmektedir. Kullanılan pcbnin alt/üst katman görünümü şekil 3.17’de ve şekil 3.18’de verilmiştir.

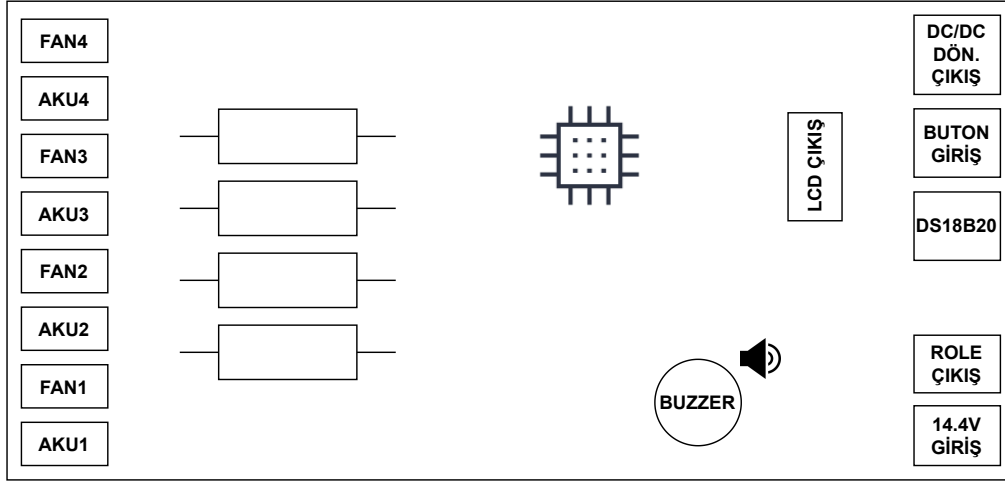


Şekil 3.17: Alt katman görünümü



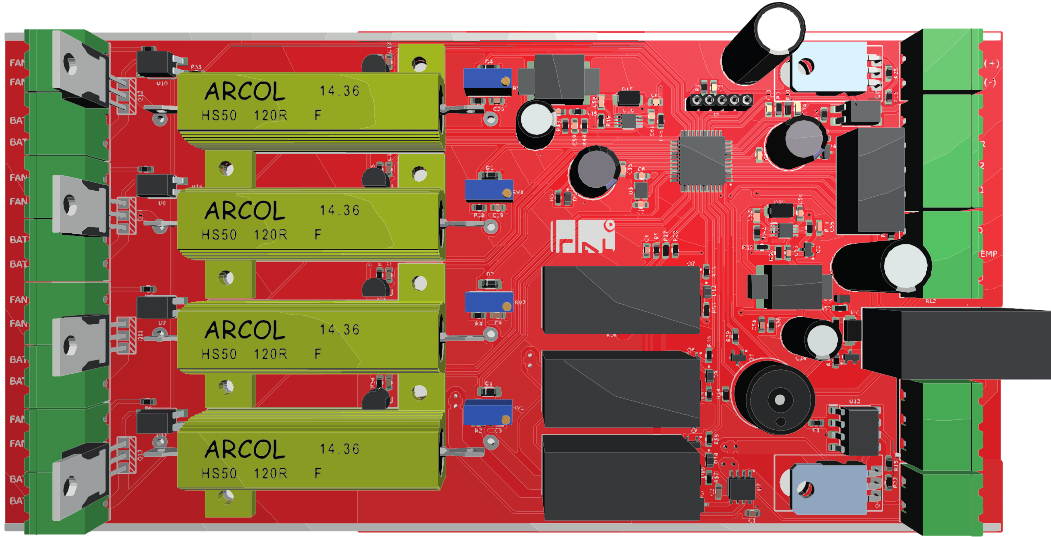
Şekil 3.18: Üst katman görünümü

Devre kartının fiziki çıkış, girişleri şekil 3.19’da verilmiştir.



Şekil 3.19: Devre kartı çıkışları

PCB tasarımının üç boyutlu modeli şekil 3.20’de verilmiştir.



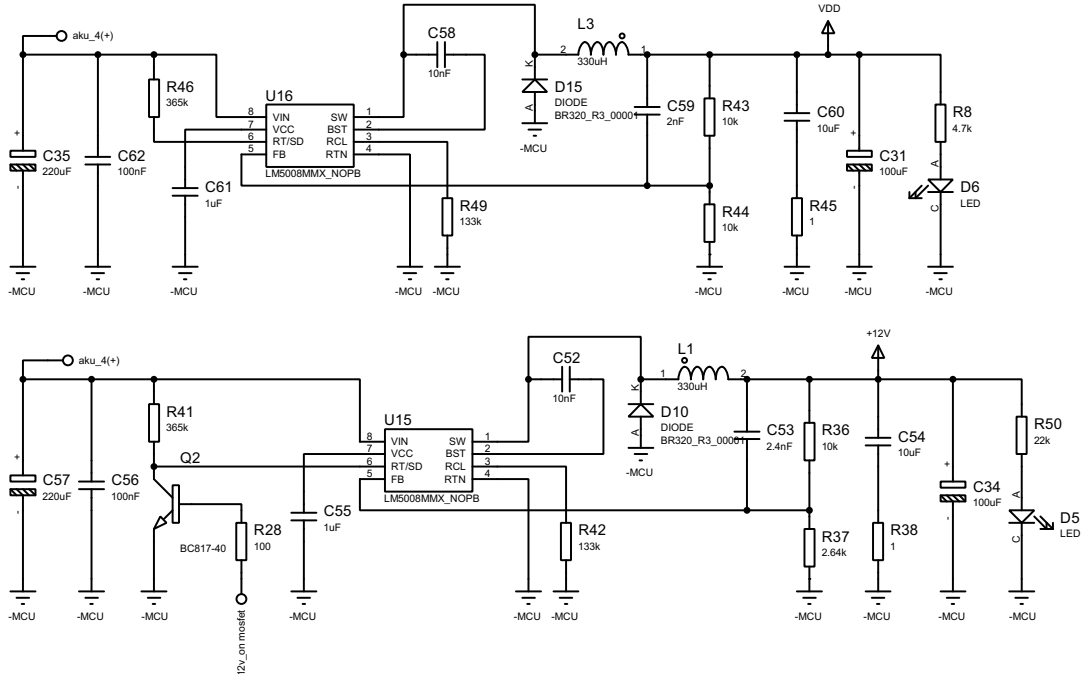
Şekil 3.20: Devre kartı 3D modeli

3.5.1 Buck Converter Devresi

Devre beslemesi buck converter ile yapılmaktadır. 2 adet buck converter 12V ve 5V gerilimlerinin üretilmesi için kullanılmıştır. Kullanılan entegre ismi LM5008'dir. Entegre datasheetindeki özellikler aşağıda verilmiştir.

- Çalışma Giriş Gerilim Aralığı: 6 V - 95 V
- Entegre 100-V, N-Kanal Buck Anahtarı
- Dahili VCC Regülatörü
- Ayarlanabilir çıkış gerilimi
- Yüksek verimli operasyon
- Akıllı akım sınır koruması
- Termal kapatma
- 8 pimli VSSOP ve WSON paketleri("LM500895-V,350-mA,ConstantOn-TimeDC/DCBuckSwitchingRegulator", 2004)

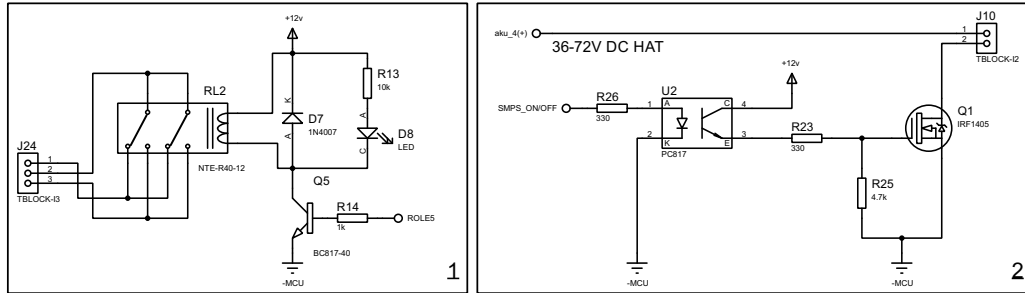
Kullanılan buck coverter devre şeması şekil 3.21'de verilmiştir.



Şekil 3.21: Kullanılan buck converter devresi

3.5.2 DC/DC ve AC/DC İzole Kaynak Anahtarlama Devresi

AC/DC izole kaynağı anahtarlamak için role, DC/DC olan için mosfet anahtarlanmıştır. Devrerin şemaları şekil 3.22’de verilmiştir.



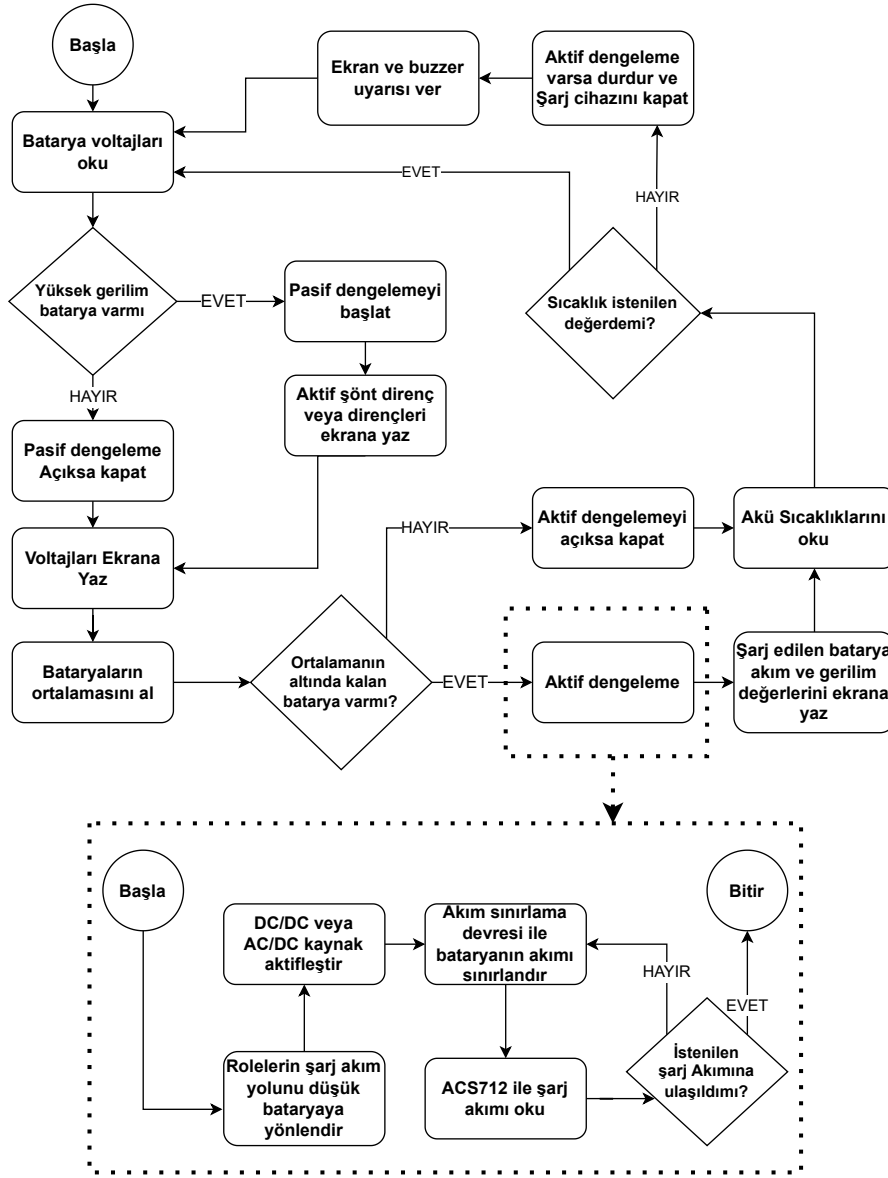
Şekil 3.22: Kaynakların anahtarlama devresi

Bir numaralı devre AC/DC izole kaynak için geçerlidir. Kaynağın enerji girişi ile in-

verter arasındaki faz hattının anahtarlanmasını sağlamaktadır. Role bc817 npn transistörü ile kontrol edilmiştir. İki numara DC/DC izole kaynağın enerji girişinin bağlandığı devredir. Mosfet ile anahtarlanmıştır. Mosfet gate driver olarak pc817 photocoupler entegresi kullanılmıştır. DC/DC kaynak kullanıldığında bir numaralı devre yüksek sıcaklık koruması için şarj cihazını kapatabilmektedir.

3.6 Sistem Çalışma Algoritması ve Yazılımları

Sistem çalışma algoritması içeriği, aktif-pasif dengelemenin nasıl kullanıldığını ve sıcaklık kontrollerinin nasıl yapıldığı konularını detaylandırmaktadır. Sistem algoritması şekil 3.23’de verilmiştir. Algoritma enerji var olduğu sürece sonsuz bir döngü içerisinde çalışmaktadır.



Şekil 3.23: Sistem akış şeması

Algoritmada ilk önce akü gerilimleri okunmaktadır. Tehlike arzedecek kadar yüksek gerilime sahip aküler varsa şönt dirençleri devreye girecektir. Pasif dengeleme yazılımı aşağıda verilmiştir.

```

1 void Pasif_Dengeleme()
2 {
3     if(BATARYA1>=Max_VOLT)
4     {
5         BALANCE1=1;
6         Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
7         Lcd_Out(1,1,"BAT1 YUKSEK VOLT  ");
8     }
9     else BALANCE1=0;
10    if(BATARYA2>=Max_VOLT)
11    {
12        BALANCE2=1;
13        Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
14        Lcd_Out(1,1,"BAT2 YUKSEK VOLT  ");
15    }
16    else BALANCE2=0;
17    if(BATARYA3>=Max_VOLT)
18    {
19        BALANCE3=1;
20        Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
21        Lcd_Out(1,1,"BAT3 YUKSEK VOLT  ");
22    }
23    else BALANCE3=0;
24    if(BATARYA4>=Max_VOLT)
25    {
26        BALANCE4=1;
27        Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
28        Lcd_Out(1,1,"BAT4 YUKSEK VOLT  ");

```

```
29 }
30 else BALANCE4=0;
31 }
32
```

Pasif dengelemeye ihtiyaç yoksa bataryaların ortalaması alınır ortalmanın altında kalan bataryaların tesbiti gerçekleşirse aktif dengeleme işlemine başlanır. Aktif dengeleme yazılımı aşağıdadır.

```
1 Void Aktif_Dengeleme()
2 {
3   if (lovbat1)
4   {
5     ROLE1=1; ROLE2=1; ROLE3=0;
6     SMPS_ON_MOSFET=1;
7     delay_ms(500);
8     current_duty = 1;
9     akim1 = 0.0;
10    while(akim1 >= aim_current)
11    {
12      current_duty++;
13      PWM2_Set_Duty(current_duty);
14      delay_ms(10);
15      MedianFilter(12,ACS_ADC,2); //AN den akim degerini okuyor
16      akim1 = (adc_ort-512)*0.04878;
17    }
18    Floattostr(akim1,txtakim);
19    Lcd_Out(3,1,"A_SARJ=");
20    Lcd_Out_cp(txtakim);
```

```

21     delay_ms(3000);
22 }
23 else if (lovbat2)
24 {
25     ROLE1=1; ROLE2=0; ROLE3=0;
26     SMPS_ON_MOSFET=1;
27     delay_ms(500);
28     current_duty = 1;
29     akim1 = 0.0;
30     while(akim1 >= aim_current)
31     {
32         current_duty++;
33         PWM2_Set_Duty(current_duty);
34         delay_ms(10);
35         MedianFilter(12,ACS_ADC,2); //AN den akim değerini okuyor
36         akim1 = (adc_ort-512)*0.04878;
37     }
38     Floattostr(akim1,txtakim);
39     Lcd_Out(3,1,"A_SARJ=");
40     Lcd_Out_cp(txtakim);
41     delay_ms(3000);
42 }
43 else if (lovbat3)
44 {
45     ROLE1=0;ROLE2=0; ROLE3=1;
46     SMPS_ON_MOSFET=1;
47     delay_ms(500);
48     current_duty = 1;
49     akim1 = 0.0;

```

```

50 while(akim1 >= aim_current)
51 {
52     current_duty++;
53     PWM2_Set_Duty(current_duty);
54     delay_ms(10);
55     MedianFilter(12,ACS_ADC,2); //AN den akim değerini okuyor
56     akim1 = (adc_ort-512)*0.04878;
57 }
58 Floattostr(akim1,txtakim);
59 Lcd_Out(3,1,"A_SARJ=");
60 Lcd_Out_cp(txtakim);
61 delay_ms(3000);
62 }
63 else if (lovbat4)
64 {
65     ROLE1=0; ROLE2=0; ROLE3=0;
66     SMPS_ON_MOSFET=1;
67     delay_ms(500);
68     current_duty = 1;
69     akim1 = 0.0;
70     while(akim1 >= aim_current)
71     {
72         current_duty++;
73         PWM2_Set_Duty(current_duty);
74         delay_ms(10);
75         MedianFilter(12,ACS_ADC,2); //AN den akim değerini okuyor
76         akim1 = (adc_ort-512)*0.04878;
77     }
78     Floattostr(akim1,txtakim);

```

```
79   Lcd_Out(3,1,"A_SARJ=");
80   Lcd_Out_cp(txtakim);
81   delay_ms(3000);
82   }
83   else
84   {
85   PWM2_Set_Duty(0);
86   ROLE2=0; ROLE3=0; ROLE1=0;
87   SMPS_ON_MOSFET=0;
88   }
89
90 }
91
```

3.7 Enerji Tasarrufu

Off grid solar sistemlerinde enerji batarya paketlerine depolanır. Batarya yönetim sistemi çalışması için gerekli olan enerjiyi akü paketinden sağlar. Dolayısıyla enerji tasarrufu için sistemde bir takım önlemler alınmıştır. şekil 3.13’de verilen akım sınırlama devresi ayrı zamanda aktif şarjın kapatılması içinde kullanılabilirdi ama bu izole kaynakların yüksüz çalıştırılması esnasında oluşan akım kaybının önüne geçmez. İzole kaynakların girişine atılan anahtarlama devrelerinin amacı budur. Planlanan diğer önlemler aşağıdadır.

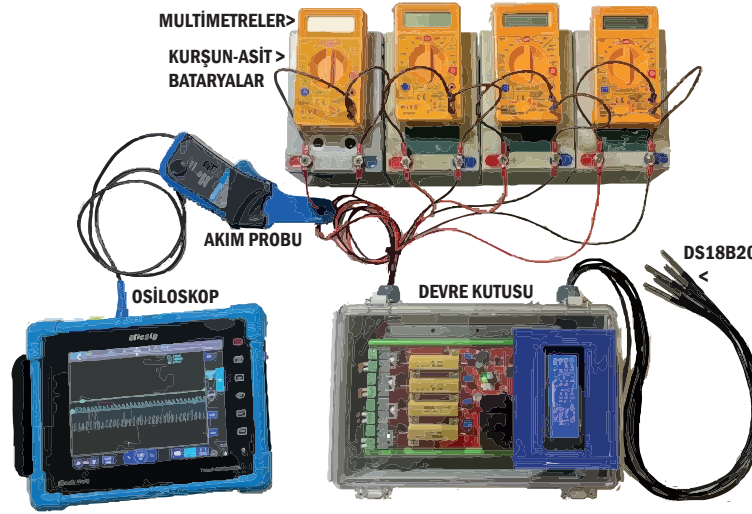
- 12V gerilimi role anahtarlamasında ve mosfet gate driverında kullanılmaktadır. Aktif şarj durumu dışında 12V’u oluşturan buck converter mikroişlemci tarafından kapatılır.
- LCD ekran bir mosfet ile anahtarlanarak sürekli açık bırakılmaz.

- Datasheet verilerine göre ACS712 10mA akım çekmektedir. Aktif dengeleme esnasında çalıştırmak üzere mosfet yardımı ile kapatılır.

Bunların yanında kullanılan converter devrelerinin verimliliği kullanılmadan önce incelenmelidir. Döküman verileri incelenerek Kullanılan 12V buck converter verimliliği (%86,8), 5V buck converter (%73,5) ve DC/DC izole kaynak (%77)(“150 watt Single Output DC-DC Converter”, 2022) verimliliğine sahiptir.

4 DENEY ÇIKTILARI

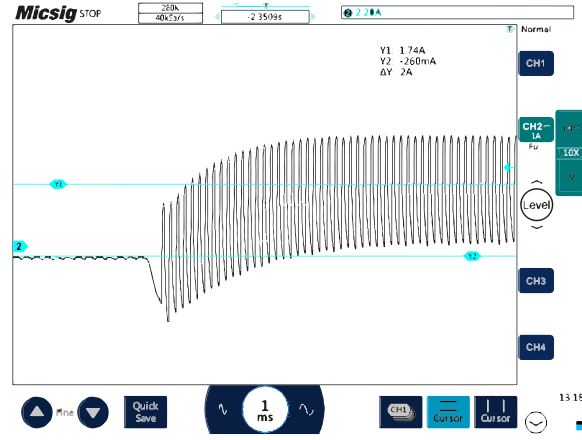
Yapılan deneyde birbirlerinden farklı gerilimlere sahip dört adet kurşun-asit batarya vardır. Bataryalar önerilen sistemin devresine bağlanmıştır. Batarya gerilimleri üzerlerine bağlı multimetreler ve 4x20 lcd ekranından takip edilmektedir. Şarj ve deşarj akımları osiloskoba bağlı bir akım probu vasıtası ile okunmaktadır. 4'ü bataryaların, 1'i ortamın sıcaklığını ölçmesi amacıyla 5 adet ds18b10 sensörü kullanılmaktadır. Devre Kutusu içinde BMS devresi, DC/DC izole kaynak ve LCD bulunmaktadır Ölçümlerin yapıldığı deney görüntüsü şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1: BMS uygulama görüntüsü

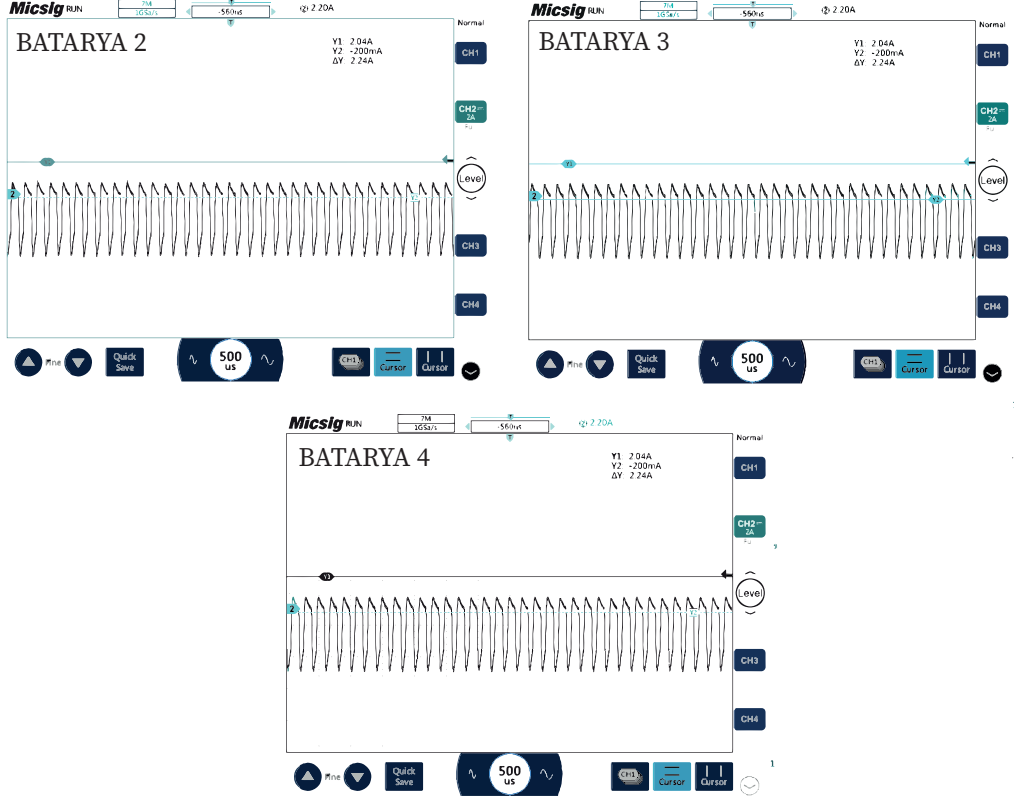
Deney başlamadan önce batarya 1 deşarj edilerek diğer bataryaların gerilim ortalamalarının altına düşürülmüştür. Sistem gerilim ortalamasının altına kalan bataryanın tesbitini sağlar ve aktif dengeleme işlemini gerçekleştirir. Şeki 4.2'de bir numaralı batayaya

giren akımın osiloskop görüntüleri verilmektedir.



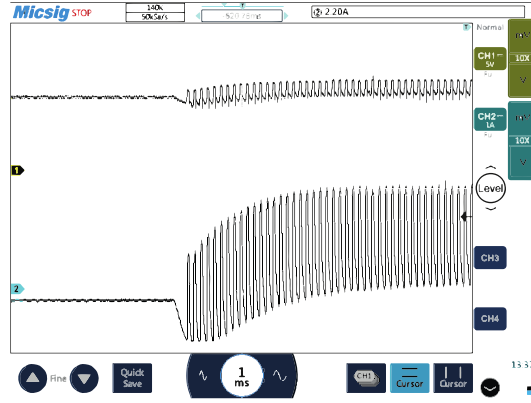
Şekil 4.2: Batarya 1'in aktif dengeleme anındaki akım grafiği

Batarya 1 ortalamasının altında gerilime sahip olduğu için akımın yönü pozitif yönde ve pozitif ortalamaya sahip olması gerekir. Aktif dengeleme anında batarya 1 şarj olurken diğer bataryalardan akım çekilmektedir. Şekil 4.3'de diğer bataryalardan çekilen akımın osiloskop görüntüleri verilmiştir.



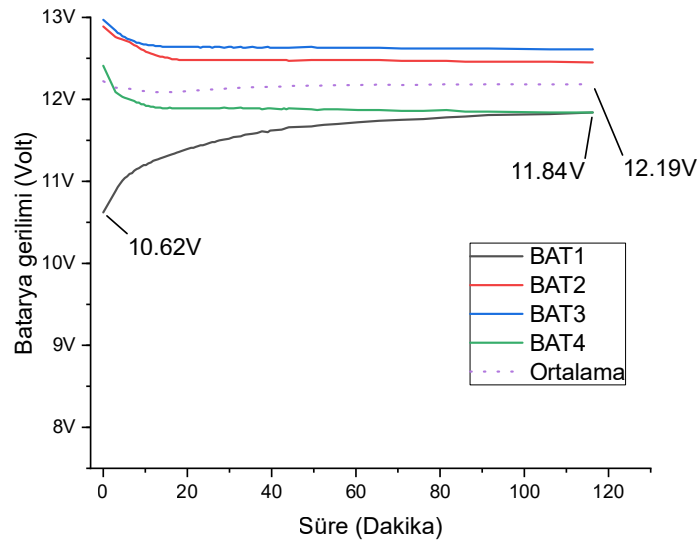
Şekil 4.3: Batarya 2-3-4'ün aktif dengeleme anındaki akım grafiği

Diğer hücrelerden akım çekilmesi bize batarya paketinden hücreye enerji aktarımı yöntemi kullanıldığını göstermektedir. Batarya paketine yük ve şarj cihazı bağlı değilken dengeleme yapıldığı için batarya 1 üzerindeki gerilim hızlıca yükselmiştir. Verilen akımla birlikte yükselen gerilim grafiği şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4: Batarya 1'in şarj anındaki akım ve gerilimi

Akım sınırlamasında kullanılan PWM sinyali görüntüsü bataryanın geriliminde görüldüğü gibi akım grafiklerinde de görülmüştür. Yaklaşık iki saat boyunca aktif dengeleme testi gerçekleştirilmiştir. Süreç boyunca bataryalar üstünde oluşan gerilim grafikleri şekil 4.5'de verilmiştir.



Şekil 4.5: Aktif dengeleme süresince batarya gerilim grafiği

10.62V ile dengeleme işlemine başlanan batarya bir işlem sonlandığında 11.84V

değerine ulaşmıştır. Dengeleme süresince bataryaların ortama gerilimleri neredeyse sabit kalmıştır. Sabit kalması SOC ortalamalarında sabit kaldığını göstermektedir. Batarya 1 şarjı süresinde geriye kalan bataryanın gerilimlerinde düşüş gözlemlenmiştir. bu düşüş bize batarya paketinden hücreye enerji transferi sağladığını göstermiştir.

5 SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Son zamanlarda batarya yönetim sistemleri batarya paketinde sıkça kullanılmaktadır. Off-grid şebekelerde oluşan problemler göz önünde bulundurarak uygun maliyete sahip kurşun asit dengeleme sistemi geliştirilmiştir. Tasarım sürecinde aşağıdaki problemler çözülmüştür.

- Seri batarya dengesizliği durumlarında oluşan aşırı gerilim pasif dengeleme sistemi ile çözüme kavuşmuştur. Bataryada aşırı ısınmanın önüne geçilmiştir.
- Denge ortalamasının altında gerilime sahip hücreler geliştirmiş olduğumuz aktif dengeleme ile tekrar şarj edilmiştir. Böylelikle sistem gerilimleri dengelenmiştir.
- AC/DC güç kaynaklarının ulaşılabilirliği, uygun maliyette olmaları ve off-grid inverterleri üzerinden beslenebilmeleri alternatif yöntem olarak tercih sebebi olmuştur.

5.1 Önerilen Sitemin Diğer Tasarımlarla Karşılaştırılması

Seri bağlı kurşun asit bataryanın kullanıldığı off grid solar sistemlerinde tasarımımıza benzer ürünleri kullanılmaktadır. Bu ürünlerin önerdiğimiz sistemle karşılaştırılması tablo 5.1’de verilmiştir.

	Önerilen Sistem	Victron Energy, Battery Balancer	Su-Kam, BMS48	(Wang et al., 2018)
Hücre Sayısı	4	2	4	6
Aktif Dengeleme	Var	Yok	Var	Var
Pasif Dengeleme	Var	Var	Yok	Yok
Sıcaklık Sensörü	DS18B20	Yok	Yok	Yok
Gösterge	LCD 2x40	Led	LCD 2X16	Led
Batarya Gerilimi	12V	12V	12V	12V
Batarya Tipi	Kurşun Asit ve LiFePO4	Kurşun Asit	Kurşun Asit	Kurşun Asit

Tablo 5.1: Alternatif ürünlerle önerilen sistemin karşılaştırması

Karşılaştıma listesinde sistemimize benzemekte olan 3 farklı batarya yönetim sistemi tabloda yer almıştır. Victron firmasının battery balancer adlı ürünü 2 adet kurşun asit bataryayı pasif dengeleme sistemi ile dengelemektedir. 4 adet batarya dengelemek için bu sistemlerinden 2 adet satın almak gerekmektedir. Su-Kam firması ile (Wang et al., 2018) akademik yayını sadece aktif dengeleme yapmaktadırlar. Bataryalar aktif dengeleme sistemi ile dengede kalmaktadır ama pakette SOC değeri düşük batarya kalmadığı durumlarda bataryalar yüksek gerilime ulaşabilmektedir. Bu ürünler incelendiğinde, önerilen sistemin ayırt edici özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Aynı anda aktif ve pasif dengeleme donanımına sahip bir sistemdir.
- Aktif dengelemenin DC/DC veya AC/DC dönüştürücü ile yapılabilir.
- Dijital kalibrasyona ihtiyaç duymayan sıcaklık sensörler kullanılmaktadır.

KAYNAKLAR

- 150 watt single output dc-dc converter (Computer software manual No. SD-150C-12). (2022). Retrieved from <https://www.meanwell-web.com/content/files/pdfs/productPdfs/MW/SD-150/SD-150-spec.pdf> (Rev. 2022-09-20)
- Acs712: Fully integrated, hall-effect-based linear current sensor ic with 2.1 kvrms voltage isolation and a low-resistance current conductor.* (n.d.). Retrieved from <https://www.allegromicro.com/en/products/sense/current-sensor-ics/zero-to-fifty-amp-integrated-conductor-sensor-ics/acs712>
- Ahuja, R., Blomqvist, A., Larsson, P., Pyykkö, P., & Zaleski-Ejgierd, P. (2011). Relativity and the lead-acid battery. *Physical Review Letters*, *106*(1), 018301.
- Andrea, D. (2010). *Battery management systems for large lithium-ion battery packs*. Artech house.
- Bat-Orgil, T., Dugarjav, B., & Shimizu, T. (2020). Battery module equalizer based on state of charge observation derived from overall voltage variation. *IEEJ Journal of Industry Applications*, *9*(5), 584–596.
- DI, Y.-x., & CHEN, H.-j. (n.d.). A novel li-ion battery equalizer circuit design based on lc resonant tank.
- Ds18b20 programmable resolution 1-wire digital thermometer: Maxim integrated (Computer software manual No. DS18B20). (2019). Retrieved from <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf> (Rev. 6)

- Fei, A., Wen-liang, D., Li-qiang, X., Chun, H., Xiang-wen, G., & Lin, C. (2019). Research and implementation on the active equalization for the battery in the dc system. In *2019 chinese automation congress (cac)* (pp. 925–929).
- Gao, M., Qu, J., Wang, J., Lin, H., & Wang, M. (2020). Research on symmetry half-bridge switched capacitor active equalization circuit of vehicle power lead-acid battery. In *2020 8th international conference on power electronics systems and applications (pessa)* (pp. 1–5).
- Habib, A. A., Hasan, M. K., Islam, S., Ahmed, M. M., Aman, A. H. M., Bagwari, A., & Khan, S. (2022). Voltage equalization circuit for retired batteries for energy storage applications. *Energy Reports*, 8, 367–374.
- How does cell balancing improve battery life.* (2022, May). Retrieved from <https://www.ionenergy.co/resources/blogs/cell-balancing-battery-life/>
- Hsieh, Y. C., Moo, C. S., Tsai, I., & Cheng, J. C. (2002). Dynamic charge equalization for series-connected batteries. In *2002 ieee international conference on industrial technology, 2002. ieee icit'02.* (Vol. 1, pp. 444–449).
- Krein, P. T., West, S., & Papenfuss, C. (2001). Equalization requirements for series vrla batteries. In *Sixteenth annual battery conference on applications and advances. proceedings of the conference (cat. no. 01th8533)* (pp. 125–130).
- Kutkut, N. H., Wiegman, H. L., Divan, D. M., & Novotny, D. W. (1998). Charge equalization for an electric vehicle battery system. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 34(1), 235–246.
- Lach, J., Wróbel, K., Wróbel, J., Podsadni, P., & Czerwiński, A. (2019). Applications of carbon in lead-acid batteries: a review. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 23(3), 693–705.
- Lead acid batteries.* (n.d.). Retrieved from <https://www.pveducation.org/pvcdrom/batteries/lead-acid-batteries>
- Li, P., Pan, Y., Ma, Y., & Qin, Q. (2011). Study on an active voltage equalization

- charge system of a series battery pack. In *Proceedings of 2011 international conference on electronic & mechanical engineering and information technology* (Vol. 1, pp. 141–144).
- Linden, D. (2010). *Linden's handbook of batteries*. McGraw-Hill.
- Liu, Y., Xia, C., Gu, M., Xin, W., & Men, X. (2019). A novel active equalizer for li-ion battery pack in electric vehicles. *Energy Procedia*, 158, 2649–2654.
- Lm500895-v,350-ma,constanton-timedc/dcbuckswitchingregulator (Computer software manual No. LM5008). (2004). Retrieved from <https://www.ti.com/lit/gpn/LM5008> (Rev. 2018)
- Median filter*. (2021, Sep). Wikimedia Foundation. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Median_filter
- Prasad, K. V., Divakar, B., & Kumar, P. P. (2013). Development of charge equalization circuit. In *2013 5th international conference on power electronics systems and applications (pessa)* (pp. 1–5).
- Qays, M. O., Buswig, Y., Basri, H., Hossain, M. L., Abu-Siada, A., Rahman, M. M., & Muyeen, S. (2020). An intelligent controlling method for battery lifetime increment using state of charge estimation in pv-battery hybrid system. *Applied Sciences*, 10(24), 8799.
- Rui, L., Lizhi, W., Xueli, H., Qiang, D., & Jie, Z. (2015). A review of equalization topologies for lithium-ion battery packs. In *2015 34th chinese control conference (ccc)* (pp. 7922–7927).
- Sagar, B., Divakar, B., & Prasad, K. V. (2014). Series battery equalization using sequential difference algorithm. In *2014 international conference on advances in electronics computers and communications* (pp. 1–6).
- Shimizu, T., Hirakata, M., Kamezawa, T., & Watanabe, H. (2001). Generation control circuit for photovoltaic modules. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 16(3), 293–300.

- Somavanshi, C. (2022, Feb). *What is cell balancing, difference between active and passive cell balancing*. Retrieved from <https://www.cselectricalandelectronics.com/what-is-cell-balancing-difference-between-active-and-passive-cell-balancing/>
- Stuart, T. A., & Zhu, W. (2009). Fast equalization for large lithium ion batteries. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 24(7), 27–31.
- Talbot, J. A., & Peter. (2015, Apr). *The history and development of batteries*. Phys.org. Retrieved from <https://phys.org/news/2015-04-history-batteries.html>
- Wang, X., He, Z., Gao, M., Wu, Z., & Zhang, D. (2018). A novel lead-acid battery equalization circuit based on multiple planar transformers. In *2018 eighth international conference on instrumentation & measurement, computer, communication and control (imccc)* (pp. 905–909).
- West, S., & Krein, P. T. (2000). Equalization of valve-regulated lead-acid batteries: issues and life test results. In *Intelec. twenty-second international telecommunications energy conference (cat. no. 00ch37131)* (pp. 439–446).
- Yang, Z., Zhang, J., Kintner-Meyer, M. C., Lu, X., Choi, D., Lemmon, J. P., & Liu, J. (2011). Electrochemical energy storage for green grid. *Chemical reviews*, 111(5), 3577–3613.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Muhammet YİĞİTER

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	: KTO Karatay Üniversitesi	-
Lisans	: İstanbul Gedik Üniversitesi	Mart-2019
Lise	: Yeni Nefes Koleji	Haziran-2015

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2021	Astra Gold Pumps	Elektrik Elektronik Mühendisi
2019	Promec	Elektrik Elektronik Mühendisi
2018	Emaf	Stajyer
2015	Ulus Elektromarket	Kasiyer

Akademik Yayınlar

- M.Yiğiter, H.O.Altun, S.Kıvrak ve E.Turan "Aktif ve Pasif Dengeleme Yapabilen Çoklu Kurşun Asit Batarya Yönetim Sistemi", 4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences, Konya, Türkiye, 2022