

Elektrikli Araçlar için Batarya Paketi ve Batarya Yönetim Sisteminin Gerçeklenmesi

Implementation of Battery Pack and Battery Management System for Electric Vehicles

*Abdurrahim AKGUNDOĞDU**

Faculty of Engineering, Department of Electrical and
Electronics Engineering
Istanbul University
Istanbul, Turkey
akgundog@istanbul.edu.tr

Orcun KARADENİZ

Faculty of Engineering, Department of Electrical and
Electronics Engineering
Istanbul University
Istanbul, Turkey
orcun.karadeniz@ogr.iu.edu.tr

Ufuk SAHİN

Faculty of Engineering, Department of Electrical and
Electronics Engineering
Istanbul University
Istanbul, Turkey
sahinufuk1@ogr.iu.edu.tr

Sedat İN

Istanbul University
MilAT 1453 Society
Istanbul, Turkey
sedatin@milat1453.com

Hasan TIRYAKI

Faculty of Engineering, Department of Electrical and
Electronics Engineering
Istanbul University
Istanbul, Turkey
hasan.tiryaki@istanbul.edu.tr

Gokhan ERDOĞAN

Faculty of Engineering, Department of Mechanical
Engineering
Istanbul University
Istanbul, Turkey
gokhan.erdogan@ogr.iu.edu.tr

Mert Yahya YILMAZ

Istanbul University
MilAT 1453 Society
Istanbul, Turkey
mertyahya@milat1453.com

İlhan KOCAARSLAN

Faculty of Engineering, Department of Electrical and
Electronics Engineering
Istanbul University
Istanbul, Turkey
ikarslan@istanbul.edu.tr

Özet— Batarya hücrelerinin paralel ya da seri olarak bağlanıp bir enerji kaynağı olarak kullanılabilmesi için Batarya Yönetim Sistemine gereksinim duyulmaktadır. Bir batarya şarj cihazı, bataryayı en iyi bir şekilde şarj edebilmek için bataryanın şarj durumu, sıcaklığı, gerilimi, akımı gibi bilgilere ihtiyaç duyar. Bir mikroşlemci ve çeşitli sensörlerden oluşan Batarya Yönetim Sistemi, araç üzerinde ve bataryanın yanında bulunur. Mikroşlemci bataryanın şarj algoritmasını içerir. Sensörler ise bataryanın gerilimi, akımı ve sıcaklığı gibi büyüklükleri ölçerler. Mikroşlemci, sensörlerden aldığı bilgiler doğrultusunda istenen şarj akımını bataryaya sağlar. Batarya Yönetim Sistemi, şarj sırasında oluşabilecek batarya içi veya batarya dışı hatalara karşı da koruma sağlar. Bir hata oluştuğunda hatanın tipini belirler ve gerekirse şarjı durdurur. Batarya Yönetim Sistemi, aynı zamanda batarya şarj durumunu en iyi şekilde belirleyerek bataryanın aşırı şarj ve deşarj olmasını engeller. Lityum bazlı batarya sisteminde hücreler arası dengeleme büyük önem arz etmektedir. Bataryalar şarj ve deşarj edildikçe kapasiteleri azalır. Dengeleme olmadan yapılan şarj ve deşarjların gerçekleşmesi sonucunda bataryalar standart kullanım ömürlerini tamamlayamadan bozulur ve hızlı bir şekilde devre dışı kalırlar. Bataryaların etkin ve verimli bir şekilde kullanılabilmesi için ayrıca batarya paketlenmesi de çok büyük önem arz etmektedir. Batarya paketini oluşturan koruma kabı

bataryaları tümüyle çevrelemeli ve yalıtkan (akü kutuplarıyla iletken bölümlerin kısa devre yapmasını önleyecek biçimde), mekanik darbelere ve yangına karşı dayanıklı ve batarya sıvısının sızmasını önleyecek bir malzemeden yapılmalıdır. Bu çalışmada bu olumsuzlukları önleyebilmek için yaygın olarak kullanılan pasif dengeleme yöntemi ile bir Batarya Yönetim Sistemi ve güvenli çalışma koşullarına uygun bir Batarya Paketi tasarımı ile üretimi üzerinde durulacaktır.

Anahtar Kelimeler—*Batarya; Batarya Paketi; Batarya Yönetim Sistemi; Mikroşlemci; Algoritma; Tasarım; Üretim*

Abstract— There is a need for a battery management system so that the battery cells can be connected in parallel or in series and used as an energy source. A battery charger needs information such as the charge state, temperature, voltage, current of the battery to charge the battery in the best possible way. A battery management system consisting of a microprocessor and various sensors is located on the vehicle and next to the battery. The microprocessor includes the charging algorithm of the battery. Sensors measure the magnitude of the battery's voltage, current, and temperature. The microprocessor provides the battery with the desired charging current in the direction of the information it receives from the sensors. The

battery management system also provides protection against in-battery or non-battery faults that can occur during charging. When an error occurs, it specifies the type of error and stops charging if necessary. At the same time, battery management system optimizes battery charge status, preventing the battery from overcharging and discharging. Balancing between cells in the lithium-based battery system is of great importance. The capacities are reduced as the batteries are charged and discharged. As a result of unbalanced charging and discharging, the batteries degrade and quickly become inactive before they reach their standard service life. Battery packaging is also very important for the efficient and efficient use of batteries. The protective housing coils that make up the battery pack must be made entirely of a material that is both circumscribed and insulated (to prevent shorting the conductive parts with battery poles), mechanically punctured and fire resistant, and to prevent leakage of the battery fluid. In this study, we will focus on a battery management system with passive balancing which is widely used to prevent these problems, and a battery pack design and production that is suitable for safe working conditions.

Keywords—Battery; Battery Pack; Battery Management System; Microprocessors; Algorithm; Design; Production.

* Corresponding Author

I. GİRİŞ

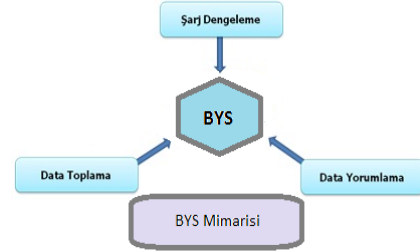
Lityum tabanlı bataryalar yüksek enerji ve güç yoğunluğu, %100'e yakın coulomb verimliliği, yüksek çevrim ömrü, hafıza etkisinin olmaması ve düşük iç deşarj kapasitesi sebepleriyle günümüzde elektriksel sistemlerin enerji ihtiyacını karşılamak için en ekonomik çözümler olarak tercih edilmektedir [1]. Bu kapsamda lityum tabanlı bataryaların özellikle telekomünikasyon, tüketici elektroniği, yenilenebilir enerji, robotik ve elektrikli araç uygulamalarında enerji depolama ve güç kaynağı olarak kullanımı her geçen gün yaygınlaşmaktadır [2,3]. Ancak lityum tabanlı bataryalar, hücre elektrokimyasal özellikleri sebebiyle bir takım tasarım sınırlamalarına sahiptir. Bunlar aşırı şarj, aşırı deşarj ve aşırı sıcaklık sınırlamalarıdır. Lityum tabanlı hücreler bu kısıtlar gözetilmeden kullanıldığında yanma, ergime, patlama gibi geri dönüşü mümkün olmayan kazaların meydana gelmesine neden olabilmektedir. Bu sebeple lityum tabanlı enerji depolama ünitelerinde batarya güvenliğini sağlamak, servis ömrünü arttırmak, şarj ve sağlık durumlarını kontrol ederek batarya performansının iyileştirilmesi için batarya yönetim sistemlerine (BYS) ihtiyaç duyulmaktadır.

BYS, bir veya daha çok hücreden oluşan batarya paketlerinin şarj ve deşarj sırasında denetimini ve yönetimini yapan sistemdir. Batarya paketlerinde akım, gerilim, sıcaklık vb. önemli değerlerin ölçümünü yaparak optimum değerlerin dışına çıkıldığında sisteme müdahale eden yapılardır.

Birden fazla hücrenin bir araya gelerek oluşturduğu sisteme batarya veya batarya paketi denir. Batarya paketleri seri veya paralel bağlı hücrelerden oluşur. Batarya paketlerinde seri bağlantılar gerilimi, paralel bağlantılar çekilebilecek akımı ve kapasiteyi belirler. Bu seri ve paralel bağlı sistemler arasındaki koordinasyonun sağlanması için batarya yönetim sistemleri kullanılır. BYS'ler, şarj edilebilir

bataryaların kontrol ve denetimini yapan elektronik sistemlerdir. Batarya sistemlerinde bir koruyucu gibi davranarak bataryaların o andaki çalışma durumlarını inceleyip optimum çalışma değer aralıklarında kalmalarını sağlar.

Batarya paketleri hazırlanırken bir batarya yönetim sistemi ve harici bir veri iletim sistemi ile birlikte hazırlanırlar. Ayrıca BYS ile hazırlanan batarya paketleri, gerekli değer aralıklarında çalışabilen şarj cihazları ile şarj edilmelidirler. Bu çalışmada kullanılan topoloji; hem şarj sırasında hem de deşarj sırasında şarj dengeleme görevini yerine getirmektedir. Batarya yönetim sistemi alt bileşenleri Şekil 1'de gösterilmiştir;



Şekil 1. Batarya yönetim sistemi alt bileşenleri.

Lityum bazlı batarya sisteminde dengelemenin birçok önemli faydası bulunmaktadır. Bataryalar şarj ve deşarj edildikçe kapasiteleri azalır. Dengeleme olmadan yapılan şarj ve deşarjların gerçekleşmesi sonucunda bataryalar standart kullanım ömürlerini tamamlayamadan bozulur ve hızlı bir şekilde devre dışı kalırlar. Hâlbuki hücresel dengeleme sistemiyle birlikte kullanılan bataryalardan hem daha fazla enerji çekilebilir hem de bu bataryaların kullanım ömürleri daha uzun olur. Bu çalışmada Pasif Dengeleme Yöntemi anlatılacaktır.

II. ELEKTRİKLİ OTOMOBİLLERDE KULLANILAN BATARYA TİPLERİ

Günümüzde farklı anma gerilimi ve enerji yoğunluğuna sahip çeşitli batarya teknolojileri bulunmakta ve geliştirilmektedir. Elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılan ve bazıları henüz araştırma aşamasında olan batarya teknolojileri ve özellikleri Tablo 1'de verilmiştir [4,5].

TABLO 1: Elektrikli Araçlarda Kullanılan Batarya Teknolojileri ve Özellikleri.

Pil Çeşitleri	Nominal Voltaj (V)	Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Çevrim Ömrü	Hafıza Etkisi	Çalışma Sıcaklığı (C)
Pb-acid	2	35	1000	Yok	-15, +50
NiCd	1.2	50-80	2000	Var	-20, +50
NiMH	1.2	70-95	<3000	Nadir	-20, +60
Li-ion	3.6	118-250	2000	Yok	-20, +60
LiPo	3.7	130-225	>1200	Yok	-20, +60
LiFePO ₄	3.2	120	>2000	Yok	-45, +70
Li-S	2.5	350-650	300	Yok	-60, +60

A. Kurşun-Asit (Pb-Acid) Bataryalar:

Kurşun-asit bataryalar birçok uygulamada kullanılmakta olan eski ve yaygın bir teknolojidir. Kurşun-asit bataryalarda negatif yüklü elektrotta kurşun, pozitif yüklü elektrotta kurşun dioksit (PbO₂) ve elektrolit olarak sülfürik asit (H₂SO₄) kullanılmaktadır. Yüksek deşarj akımı, düşük özboşalım, hafıza etkisinin bulunmaması ve ucuz olması gibi önemli avantajlara sahiptir. Ancak düşük nominal gerilim ve enerji yoğunluğuna sahiptir. Ayrıca kullanılmadıkları zaman batarya ömürleri düşmektedir [4].

B. Nikel Kadmiyum (NiCd) Bataryalar

Nikel kadmiyum bataryalar güvenli ve ucuz bir teknolojidir. Nikel kadmiyum bataryalarda negatif yüklü elektrotta kadmiyum/ kadmiyum hidroksit (Cd/Cd(OH)₂), pozitif yüklü elektrotta nikel hidroksit/nikel oksihidroksit (Ni(OH)₂/NiOOH) ve elektrolit olarak potasyum hidroksit (KOH) kullanılmaktadır. Yüksek deşarj akımı sağlayan bu bataryalar kurşun-asit bataryalara göre daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Ancak önemli dezavantajlara sahiptir. Bunlar zayıf şarj/deşarj verimi, yüksek özboşalım ve hafıza etkili olmasıdır [4].

C. Nikel Metal Hidrat (NiMH) Bataryalar

Nikel metal hidrat batarya teknolojisi nikel kadmiyum bataryaların dezavantajlarına alternatif olarak geliştirilmiştir. Kadmiyum elektrotu yerine metal hidrat kullanılmıştır. Nominal gerilim değerleri eşit iken nikel metal hidrat bataryalar daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Ancak nikel metal hidrat bataryalar nikel kadmiyum bataryalarına göre daha yüksek özboşalım oranına ve aşırı şarj durumunda daha düşük güvenilirliğe sahiptir [4].

D. Lityum İyon (Li-ion) Bataryalar

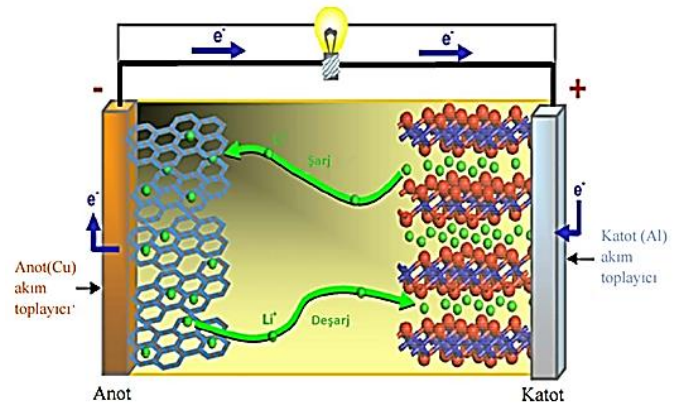
Lityum iyon bataryalarda pozitif elektrot olarak diğer materyallere göre düşük toksit, yüksek kapasite ve ucuz olması avantajları sebebiyle lityum metal oksitler kullanılmaktadır. Yaygın kullanılan oksitler; Lityum kobalt oksit (LiCoO₂), Lityum nikel oksit (LiNiO₂) ve Lityum mangan oksit (LiMn₂O₂). Lityum iyon batarya teknolojisi nikel tabanlı batarya teknolojilerinden farklı özelliklere sahiptir. Nikel tabanlı batarya gruplarına göre daha yüksek nominal gerilim ve daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir [4].

Tablo 2’de genel olarak Lityum iyon bataryaların diğer ikincil bataryalarla (gümüş-çinko, nikel-çinko, nikel-hidrojen) karşılaştırıldıklarında sergiledikleri avantaj ve dezavantajlar sıralanmıştır [6].

TABLO 1: Lityum İyon bataryaların avantaj ve dezavantajları

Avantaj	Dezavantaj
Kapalı hücre, bakım gerektirmemesi	Fiyatı
Uzun raf ömrü	Yüksek sıcaklıklarda bozunması
Uzun ömürlü	Koruyucu devre ihtiyacının oluşu
Geniş çalışma sıcaklık aralığı	Aşırı şarj sonucunda kapasite kaybı veya termal bozunma
Çabuk şarj olabilme kabiliyeti	-
Yüksek güçlü deşarj kapasitesi	-
Yüksek enerji verimi	-
Yüksek spesifik enerji ve enerji yoğunluğu	-
Hafıza etkisinin olmayışı	-

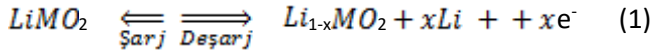
1) *Lityum İyon Batarya Çalışma Prensibi:* Tekrar şarj edilebilen lityum iyon bataryalarda, hücreler diğer batarya sistemlerinde olduğu gibi enerjiyi üretmek ve depolamaktan birincil derece sorumlu üç ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar anot, katot ve elektrolit olarak sıralanabilir [7]. Anot malzeme negatif elektrot, katot ise pozitif elektrot olarak görev alır. Pozitif elektrotlar genelde tünel veya tabakalı yapılara sahip metal oksitlerden (LiMO_x) oluşurlar. Negatif elektrot malzemelerinde tabakalı yapılara sahiplerdir. Bu yapılar sayesinde hücrenin/bataryanın şarjı ve deşarjı esnasında Li iyonları pozitif ve negatif elektrotları arasında karşılıklı olarak yer değiştirebilmektedir [8,9]. Bu, yer değiştirme reaksiyonu olarak tanımlanır. Bu reaksiyonda aktif malzemeler anot ve katot olup lityum için ev sahipliği görevini görürler. Lityum pillerinin çalışma prensibi Şekil 2’de gösterilmektedir. Döngü ömrü, 1000 döngüden daha fazladır. Pil mekanizması lityum iyonunun anot katot arasındaki geçişine dayanmaktadır. Bu mekanizmaya göre şarj esnasında lityum iyonları katottan anoda doğru, deşarj esnasında ise tersi yönde hareket etmektedirler [10,11]



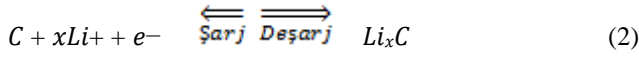
Şekil 2. İkincil Lityum bataryaların şarj-deşarj mekanizması [11].

Anot elektrotta grafit, katot elektrotta $LiMO_2$ kullanılan bir lityum iyon hücrede gerçekleşen yarı hücre elektrokimyasal reaksiyonları ve toplam reaksiyon denklemleri aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmektedir [11].

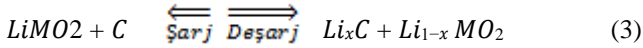
Katot elektrotta;



Anot elektrotta;



Toplam reaksiyon;



şeklindedir.

Hücrede bu reaksiyonların oluşması için elektrot malzemelerinin elektriksel iletkenliği sağlanmalıdır. Bu amaçla, elektrot malzemeleri yüksek iletken metal folyolar üzerine kaplanır veya folyo üzerine biriktirilir. Folyoların üzerindeki elektrotlar arasında gerçekleşmesi muhtemel kısa devreyi önlemek için mikro gözenekli ayırıcılar ve iletkenliği sağlamak için sıvı/jel/katı elektrolitler kullanılarak hücre içerisinde lityum iyonlarının yer değiştirmesi sağlanır [12-13]. Tekrar şarj edilebilir lityum iyon bataryalarda verim kapasite ile belirlenir. Hücrede aktif olan malzeme miktarı ile belirlenen kapasite, tam olarak şarj edilmiş bir bataryadan belirli deşarj koşulları altında elde edilen toplam amper saat (Ah) olarak tanımlanır. Teorik kapasite, bir hücrenin şarj edildikten sonra 1 saat içinde geri verebileceği enerji miktarıdır. Birimi Amper.saat cinsinden verilmektedir. Teorik olarak pilde kullanılan aktif malzemelerin 1 gramı 26,8 Ah veya 96487 Coulomb'dur. Lityum-iyon pillerde teorik kapasite elektrokimyasal reaksiyona katkı yapan aktif malzemelerin miktarı ile ölçülür [14]. Ticari anlamı hıza sahip bir lityum bataryanın yalnızca güvenli ve uzun ömürlü olması değil yüksek kapasitelerde hizmet vermesi de beklenmektedir.

E. Lityum İyon Polimer (LiPo) Bataryalar

Lityum iyon bataryalarla hemen hemen aynı özelliklere sahiptirler. Aralarındaki tek fark lityum iyon polimer bataryalarda elektrolit olarak polimer materyalinin kullanılmasıdır. Polimer elektrolit materyalin elektriksel iletkenliği diğer organik sıvı elektrolitlere göre daha yüksektir. Ayrıca bu materyalin kullanımı lityum polimer bataryalarının daha kolay, daha hızlı ve farklı şekillerde üretilmelerine olanak sağlamaktadır [4].

F. Lityum Demir Fosfat (LiFePO₄) Bataryalar

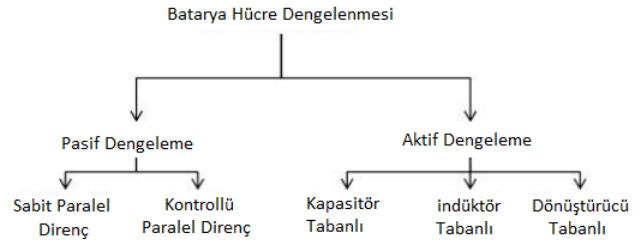
Pozitif elektrot malzemesi lityum demir fosfat olan lityum tabanlı bataryalardır. Yüksek enerji yoğunluğu, yüksek çevrim oranı ve daha güvenilir kullanım gibi avantajlara sahiptir. Ancak lityum iyon bataryalarla karşılaştırıldığında performansı daha düşüktür [4].

G. Lityum Sülfür (Li-S) Bataryalar

Lityum tabanlı batarya gruplarından, katot malzemesi olarak sülfür kullanılan bataryalardır. Yüksek enerji yoğunluğuna, yüksek şarj verimine, düşük hücre gerilimi ve ortalama çevrim ömrüne sahip bataryalardır [4].

III. BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ

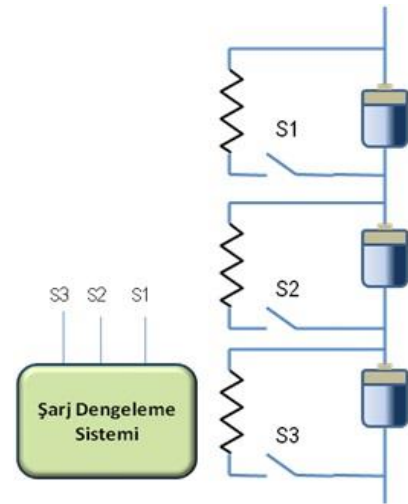
Batarya hücrelerinin dengelenmesi batarya yönetim sisteminin ana görevlerinden biridir. Dengeleme işleminde amaç şarj/deşarj işleminde tüm batarya hücrelerinin aynı gerilim düzeyinde tutulmasıdır. Dengeleme işlemi aktif ve pasif dengeleme olmak üzere iki çeşittir [12]. Batarya hücrelerinin dengeleme topolojisi Şekil 3'de verilmiştir;



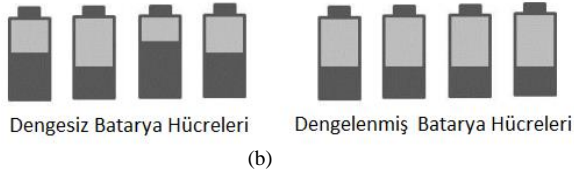
Şekil 3. Hücre Dengeleme Topolojisi [5].

A. Pasif Dengeleme

Batarya hücrelerinin dengelenmesinde pasif dengeleme yöntemi basit ve uygulanması kolay bir yöntemdir. Pasif dengeleme devresi batarya hücrelerinin en düşük gerilim seviyesini (V_{min}) ve en yüksek gerilim seviyesini (V_{max}) tespit eder ve diğer batarya hücrelerinin gerilim seviyelerini paralel dirençler üzerinden harcayarak referans aldığı bu gerilim seviyesine düşürür [12]. Pasif dengeleme genel topolojisi ve batarya gerilim seviyelerinde oluşan değişim Şekil 4'de verilmiştir;

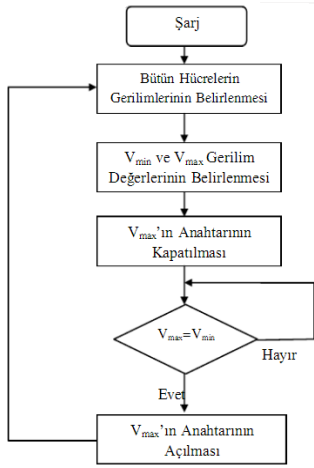


(a)



Şekil 4. (a) Pasif Dengeleme Genel Topolojisi (b) Pasif dengeleme esnasında batarya gerilim seviyelerinde oluşan değişim.

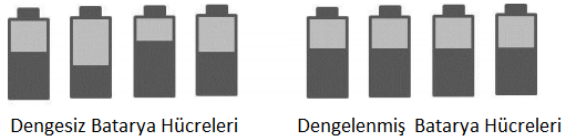
Gerilim seviyesi diğer bataryalara göre daha yüksek olan ve şarj dengelenmesine ihtiyaç duyan bataryanın bir yük direnci üzerinden deşarj edilerek, sistemdeki diğer bataryalar ile aynı şarj durumunda kalması sağlanır. Yük direnci üzerinden ısı olarak harcanan enerji hem sistem verimini düşürür hem de bu yük dirençlerinin soğutma ihtiyacı ek maliyet ve yük oluşturur. Yazılımsal ve donanımsal olarak uygulaması en kolay şarj dengeleme tekniğidir. Şekil 5’de Pasif dengeleme sistemine ait algoritmaları gösteren akış diyagramı gösterilmiştir;



Şekil 5. Pasif dengeleme sistemi akış diyagramı.

B. Aktif Dengeleme

Batarya hücrelerinin dengelenmesinde kullanılan diğer bir yöntem ise aktif dengeleme yöntemidir. Aktif dengeleme devresi, hesapladığı batarya hücrelerinin gerilim seviyelerini gerektiğinde gerilim transferi yaparak ortalama bir seviyede dengeler. Böylece pasif dengelemede harcanan enerji, aktif dengelemede diğer batarya hücrelerine aktararak daha verimli bir dengeleme yapılmış olur [12]. Aktif dengelemede batarya gerilim seviyelerindeki değişim Şekil 6’da verilmiştir;



Şekil 6. Aktif Dengeleme.

IV. MİLAT S2 İÇİN BATARYA PAKETİ VE BATARYA YÖNETİM SİSTEMİNİN GERÇEKLENMESİ

Milat 1453 Topluluğu’nun üretmiş olduğu S2 aracında Li-İon Panasonic NCR18650B batarya hücreleri kullanılmıştır. Bu hücreler 3200 mAh akım kapasitesine sahip olup 243 Wh/kg enerji yoğunluğuyla piyasada bulunan diğer batarya hücrelerinin önüne geçmektedir.

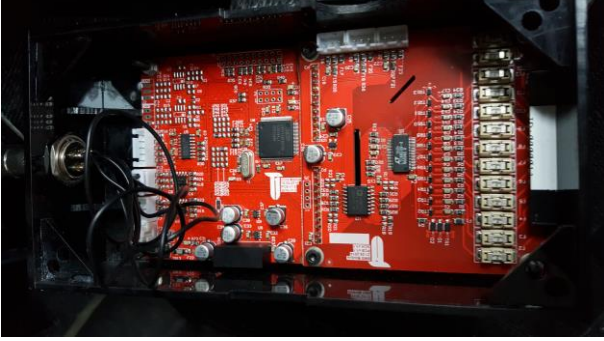
Batarya paketi, 6 paralel ve 32 seri şekilde bağlanan batarya hücrelerinden oluşturulmuştur. Bu bağlantı şekliyle maksimum şarj gerilimi 134,4 V’a çıkmakta ve 19200 mAh akım kapasitesi sağlanabilmektedir. Batarya paketi oluşturulurken hücre bağlantılarının kontak dirençleri olabildiğince düşük tutulmaya çalışılmıştır. Batarya hücreleri öncelikle nikel şeritlere en az 3 noktadan puntolanmıştır. Batarya hücrelerinden gelen nikel şeritler ise bakır baralara en az 4 noktadan puntolanmıştır. Böylelikle 6 paralel bağlantıya sahip batarya grupları oluşturulmuştur. Batarya gruplarının seri bağlantıları ise bakır baraların birbirine civatalar vasıtasıyla bağlanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Kontak direncinin düşük tutulabilmesi için civata bağlantıları yüksek torklarda birçok kez sıkılmış ve conta yardımıyla gevşemelerinin önüne geçilmiştir. Bara bağlantılarının tamamlanmasının ardından batarya grupları hafif olması sebebiyle karbon-fiber kompozit malzemeden üretilmiş kutunun içerisine yerleştirilmiştir. Karbon-fiber materyal elektriksel olarak iletken olduğu için kutunun iç yüzeyi elektriksel olarak yalıtkan ve yanmaya dayanıklı PVC-kağıt izolatör ile kaplanmıştır. Ayrıca batarya paketinin mekaniksel titreşimler ve darbelerden etkilenmemesi için sünger ve PVC kullanılarak sabitlenmesi sağlanmıştır. Şekil 7’de gösterilen batarya paketinden çıkarılan ana güç kablolarında doğru Akım sistemleri için özel üretilmiş kablolar tercih edilmiştir.



Şekil 7. MilAT S2’de kullanılan Batarya Paketi.

Milat 1453 Topluluğu’nun üretmiş olduğu S2 aracında, Batarya Yönetim Sistemi iki ayrı elektronik kontrol kartından oluşmaktadır. Bu kontrol kartlarından ilki batarya hücrelerinin sıcaklıklarını ve gerilimlerini ölçmektedir. İstanbul Üniversitesi BAP-28029 numaralı “Elektrikli Binek Otomobilin Geliştirilmesi” projesi kapsamında geliştirilen batarya izleme sistemi, MilAT S2 projesinin batarya paketiyle ilgili verilerin toplandığı bir karttır. Söz konusu projede üretilen elektrikli binek otomobilin batarya izleme sisteminin çekirdeğini Lineer Technology firmasının LTC6803-2 kodlu BYS entegrasyonu oluşturmaktadır. Ana kart üzerinde bulunan

mikrodenetleyici ile SPI haberleşme protokülüyle iletişim kuran bu entegre devre, seri bağlı 12 hücrenin gerilim ölçümünü yapabilmektedir. Her LTC6803-2 için bir mikrodenetleyicinin kullanıldığı sistemde tüm modüller kendi aralarında RS485 haberleşme protokülüyle iletişim kurmaktadır. Her modül 3 adet LM35 sıcaklık sensörü girişine sahiptir. Bu batarya izleme sistemi aracılığıyla yapılan ölçümler dikkate alınarak Milat S2'nin batarya dengeleme sisteminin ihtiyacı olan veriler toplanmıştır. Bahsedilen kartın görüntüsü şekil 8'de görülmektedir.



Şekil 8. MilAT S2'de kullanılan BYS kartı.

İkinci elektronik kontrol kartı ise batarya hücrelerinin pasif dengelenmesi işlemini gerçekleştirmektedir. İki ayrı elektronik kontrol kartının kullanılmasındaki amaç baskı devre üzerindeki ısı yönetimi sağlayabilmektir. Pasif dengelemenin gerçekleştirilmesi süresince yük dirençleri üzerinde yaklaşık olarak 3W ısı enerji açığa çıkmaktadır. Tek bir elektronik kontrol kartı kullanılan uygulamalarda bu ısı enerjiden dolayı analog ölçüm sistemlerinde sıcaklığa bağlı olarak ölçüm kaymaları oluşabilmektedir. Bu iki elektronik kontrol kartının ayrı olarak tasarlanması ve birbirinden ayrı termal yönetime sahip olması analog ölçümlerin kararlılığını pozitif yönde etkilemiştir.

Batarya Yönetim Sistemin'de pasif dengeleme PIC18F4550 mikrodenetleyici ile kontrol edilmekte olup TLP222 optocoupler kullanılarak dengeleme dirençleri anahtarlanmaktadır. TLP222 optocoupler 500 mA deşarj akımına imkan sağlayıp kapalı konumda iken 1 μ A seviyesinin altında kaçak akıma sahiptir. Kaçak akımının düşük olması batarya paketinin kullanım dışında iken deşarj etkisini azaltmakta olup yüksek akım kapasitesi sayesinde pasif dengeleme hızını pozitif yönde etkilemektedir. Pasif dengeleme mikrodenetleyici tarafından yönetilmekte olup RS-232 arayüzü ile Batarya Yönetim Sistemi'nin diğer elektronik kontrol kartından batarya gerilim verilerini almaktadır. Pasif dengelemenin yapıldığı kart ve tasarımı Şekil 9'da gösterilmektedir.



Şekil 9. MilAT S2'de kullanılan Pasif dengeleme kartı

V. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

MilAT S2 aracında kullanılan batarya yönetim sistemi her bir batarya hücrelerini maksimum 200 mA akım ile deşarj edebilmektedir. Batarya paketleri üzerine yaptığımız çalışmalar, yüksek akım kapasitesine sahip batarya paketlerinde pasif balans deşarj akımını yükseltmemiz gerektiğini göstermektedir. Yüksek akım kapasitesine sahip batarya paketleri için batarya yönetim sistemi geliştirme çalışmalarımız devam etmektedir.

Bu çalışmada Batarya ile çalışan elektrikli arabalarda kullanılan bataryaların güvenliği ve verimliliğinden bahsedilmiş, MilAT S2 aracında uygulanmış olan Batarya Yönetim Sistemi'nin tasarımı açıklanmıştır. MilAT 1453 Topluluğu batarya ve batarya yönetim sistemlerindeki teknolojik gelişmeleri yakından takip etmekte ve yeni tasarımlar üzerinde çalışmalarını sürdürmektedir. Teknolojik gelişmelere paralel olarak piyasaya çıkan yeni batarya hücreleri kullanılarak oluşturulan batarya paketlerinde Wh/kg parametresinde iyileştirme çalışmalarımız devam edecektir. Wh/kg parametresindeki gelişmeleri, elektrikli araçların verimlerini ve menzillerini etkileyen en büyük faktör olarak görmekteyiz.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 23444 numaralı "Elektrikli Taşıtlar için Batarya Yönetim Sistemi Gerçeklenmesi" başlıklı ve 23446 numaralı "Batarya Enerjili Araçlar İçin Yerleşik Şarj Birimi Gerçeklenmesi" başlıklı Normal Araştırma Projelerinin yanı sıra 28029 numaralı "Elektrikli Binek Otomobilin Geliştirilmesi" başlıklı GÜDÜMLÜ Projesi ile desteklenmiştir. Bu bağlamda İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliği'ne ve 2009 yılından bu yana Alternatif Enerjili Araç Yarışlarını düzenleyerek gençlerimizin ve akademisyenlerimizin gelişimine katkı sağlayan TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] D. Andrea, "Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs", Artech House, 2010, London..
- [2] H. Qian, J. Zhang, J.-S. Lai, and W. Yu, "High-efficiency grid-tie battery energy storage system", , IEEE Trans. Power Electron, Mart 2011, vol. 26, no. 3, pp. 886-896.

- [3] L. Maharjan, T. Yamagishi, H. Akagi, and J. Asakura, "Fault-tolerant operation of a battery-energy-storage system based on a multilevel cascade PWM converter with star configuration", *IEEE Trans. Power Electron.*, Eylül 2010, vol. 25, no. 9, , pp. 2386–2396.
- [4] J.Y. Yong, "A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, 49 pp. 365-385.
- [5] Y. Muratoğlu, A. Alkaya, "Elektrikli Araç Teknolojisi Ve Batarya Yönetim Sistemi-Inceleme" *EMO Elektrik Mühendisliği*, Eylül 2016, Sayı-458 Sayfa 10-14.
- [6] M. Yoshio, R.J. Brodd, A. Kozawa, "Lithium-Ion Batteries: Science and Technologies", Springer Science and Business Media, Newyork, USA, 2009, pp. 1-7.
- [7] D. Linden, T.B. Reddy, "Handbook of Batteries", Third Edition, McGraw-Hill, 2002, Bölüm 22 ve 35.
- [8] K. Ozawa, "Lithium Ion Rechargeable Batteries", Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 2009, pp. 5-8.
- [9] G.A. Nazri, G. Pistoia, "Lithium Batteries: Science and Technology", Springer Science and Business Media, Newyork, 2009, pp. 8-11.
- [10] Yoon, S. J., Patil, A., Vaishali, P., Shin, D.W., Choi, J.-W., Paik, D.-S., 2008, Issue and challenges facing rechargeable thin film lithium batteries, *Materials Research Bulletin*, 43, 1913-1942.
- [11] Küçükdeveci, N., "CoB Nano Tozu ve Filmin Elektrot Performansları ve Şarj/Deşarj Mekanizmaları" Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi ,Ocak 2015.
- [12] R.-E. Habiballah, "Battery management system: An overview of its application in the smart grid and electric vehicles.", *Industrial Electronics Magazine*, IEEE 7.2, 2013, pp.4-16.
- [13] S.A. Hackney, R.V. Kumar, "High Energy Density Lithium Batteries", Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 2010, pp. 70-73.
- [14] Kang, S. 2010. Designing materials for energy storage with high power and energy density: LiFePO₄ cathode material. Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 278 p. Boston