

STM32f103C8 Mikroişlemcisi Kullanılarak Elektrikli Araçlar için Pasif Dengeleme Metodu Tabanlı Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı ve Uygulaması

Sinan KIVRAK¹, Tolga ÖZER^{2*}, Yüksel OĞUZ²

¹Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Ankara.

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

*Sorumlu yazar e-posta: tolgaozer@aku.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7607-6894>

sinan.kivrak@hotmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5195-0311>

yukseloguz@aku.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5233-151X>

Geliş Tarihi: 19.02.2020

Kabul Tarihi: 02.06.2020

Öz

Önerilen çalışmada elektrikli araçlarda kullanılmak üzere dört hücreli batarya paketi için pasif hücre dengeleme metodu tabanlı batarya yönetim sistemi tasarlanmış ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Batarya yönetim sisteminin yazılımsal ve donanımsal altyapısı Master-Slave mantığına göre oluşturulmuştur. Bu nedenle üç hücre verileri okuyup master hücreye göndermektedir. Master hücre, kendi hücrenin ve slave hücrelerden gelen verileri okur. Gelen verilere göre de batarya hücrelerinin gerilim dengeleme işlemlerinin kontrolünü ve yönetimini gerçekleştirir. Hücreler kendi içerisinde CAN protokolü ile haberleşmektedir. Her bir hücreden akım, gerilim ve sıcaklık verileri okunarak hücrelerin şarj işlemi kontrollü bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Batarya yönetim sisteminde direnç tabanlı pasif kontrol yöntemi kullanılmıştır. Pasif balanslama (dengeleme) yönteminde direnç yerine P kanallı metal oksit yarı iletken anahtarlama elemanı kullanılarak gerilim dengeleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca özgün bir dijital analog dönüştürme devresi tasarlanarak pasif hücre dengeleme tabanlı batarya yönetim sisteminde uygulanmıştır. Batarya yönetim sisteminin uygulaması ve şarj işlemi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan batarya yönetim sisteminin başarılı bir şekilde çalıştığı elde edilen deneysel sonuçlar aracılığı ile kanıtlanmıştır.

Anahtar kelimeler

Batarya Yönetim Sistemi; Pasif Balanslama; Arm Mikroişlemci; Kontrol

Design and Implementation of Battery Management System Based on Passive Balancing Method for Electric Vehicles Using STM32f103C8 Microcontroller

Abstract

In the proposed study, a battery management system based on passive cell balancing method was designed and implemented for the four cell battery pack to be used in electric vehicles. The software and hardware infrastructure of the battery management system was created according to the Master-Slave logic. For this reason, three cells read the data and send it to the master cell. The master cell reads data from its own cell and slave cells. According to the incoming data, it performs the control and management of the voltage balancing processes of the battery cells. Cells communicate with CAN protocol in themselves. The charging process of the cells can be carried out in a controlled manner by reading current, voltage and temperature data from each cell. Resistance based passive control method is used in the battery management system. In the passive balancing method, voltage balancing is performed by using P channel metal oxide semiconductor switching element instead of resistance. In addition, a unique digital analog conversion circuit was designed and implemented in the passive cell balancing based battery management system. Application and charging of the battery management system has been successfully completed. The designed battery management system has been proven to work successfully through the experimental results obtained.

Keywords

Battery Management System; Passive Balancing; Arm Microprocessor; Control

1. Giriş

Günümüzde elektrikli araçlara olan ilgi gün geçtikçe artmakta ve bu alana yönelik birçok çalışma yapılmaktadır. Elektrikli araçlara yönelik artan bu ilginin en önemli nedenlerinden biri içten yanmalı motorlara göre daha çevre dostu olmalarından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle elektrikli araçların kullanım alanları giderek artmaktadır. İçten yanmalı motorlarda araçların menziline araçtaki yakıt miktarı belirlerken elektrikli araçlarda ise bu bataryalara depolanan enerji miktarına göre değişiklik göstermektedir. Elektrikli araçlarda kullanılan bataryalar tekrar şarj edilebilir özelliktedirler. Teknolojinin elektrikli araçlara yönelik bu yönde gelişmesine rağmen mevcut batarya teknolojileri istenilen performansı sağlayacak gelişmişlik seviyesine ulaşamamışlardır. Bu nedenle bataryaların etkin ve efektif kullanımını sağlamak amacı ile bir batarya yönetim sistemine (BMS) ihtiyaç duyulmaktadır (Cao et al. 2008). BMS sisteminin kullanımı sayesinde mevcut batarya sistemi daha uzun kullanım ömrüne sahip olur ve batarya sisteminin daha güvenli bir şekilde kullanılmasına imkân sağlar. Bataryaların şarj oranlarının doğru bir şekilde belirlenmesi şarj bilgisi açısından oldukça önem arz etmektedir. Batarya paketlerinin şarj oranının belirlenmesinde birçok yöntem kullanılabilir. Bu yöntemlerden biri de bataryaların gerilim bilgisinden faydalanarak doluluk oranının belirlenmesi metodudur (Muratoğlu, 2017). Bataryaların ve batarya yönetim sistemlerinin günümüzün ve geleceğin önemli çalışma alanlarından biri olacağı açıkça görülmektedir. Özellikle elektrikli araç sayısındaki artışla birlikte bu durum kaçınılmaz hale gelecektir. Otomotiv endüstrisi, mevcut araç teknolojileri arasında petrole bağımlılık, çevre kirliliği, enerji tüketimi ve verimlilik gibi nedenlerden dolayı elektrikli araç teknolojilerine son yıllarda önemli yatırımlar yapmıştır. Elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılan başlıca batarya teknolojileri; (Kurşun-asit) (Kurzweil, 2010), NiCd (Nikel Kadmiyum) (Rydh et al. 2003), NiMH (Nikel Metal Hidrat) (Lin et al. 2016) ve Li-ion (Lityum İyon) tip bataryalardır. Diğer batarya teknolojilerine kıyasla lityum iyon bataryalar tercih edilmektedir çünkü

yüksek çıkış gerilimi, yüksek enerji yoğunluğu, uzun ömür ve hafıza etkisi gibi önemli avantajları vardır (Farmann et al. 2016, Saw et al. 2014). Elektrikli araçlarda batarya sisteminde kontrol sistemi kullanılmadığında, bu durum ciddi tehlikeler oluşturabilmektedir. Bu nedenle elektrikli araçlarda, batarya yönetim sistemi (BMS) kullanılması gereklidir (Lagraoui et al. 2014, Kutkut et al. 1996). Batarya yönetim sistemlerinde iki önemli alt sistem vardır. Bu alt sistemler şarj yönetim ve haberleşme birimleridir. Batarya dengeleme yöntemi şarj yönetim birimlerinde kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntem BMS sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Dengeleme yöntemleri de iki temel başlık altında incelenir. Bunlar aktif ve pasif tabanlı batarya dengeleme metodlarıdır. Uygulama kolaylığı ve kontrol sistemlerinin daha basit olması nedeniyle pasif dengeleme sistemleri genellikle tercih edilmektedir. Pasif dengeleme yöntemleri iki farklı şekilde uygulanabilir. Birinci yöntem sabit şönt direnç metodudur (Thomas et al. 2009). Bu yöntemde, hücre gerilimi her hücreye paralel şekilde bağlı olan dirençler aracılığı ile sabit bir değerde tutulma mantığına göre çalışmaktadır. Bütün hücrelerde fazla enerji dirençler üzerinden ısı enerjisi olarak atılır. İkinci yol kontrollü şönt direnç yöntemidir (Xu et al. 2018). Kontrollü yarıiletken anahtarlar veya röleler ile dirençlerin ilettime sokulup çıkarılma mantığına göre çalışır. Bu yöntemde enerjisi fazla olan hücrenin anahtarı ilettime sokularak fazla enerji direnç üzerinde harcanır. Aynı zamanda pasif dengeleme tabanlı BMS sistemlerinde direnç yerine MOSFET anahtarlama elemanlarının direnç olarak kullanıldığı uygulamalar da bulunmaktadır. Bu yöntemde hücrelerdeki fazla enerji MOSFET'lerin üzerinden atılmaktadır (İsmail et al. 2017).

BMS sistemlerinde sistemin kontrol işlemleri elde edilen verilere göre şekillendiği için batarya hücrelerinden elde edilen veriler oldukça önem taşımaktadır (Nana, 2015). Bu nedenle verilerin doğru bir şekilde alınması sistemin kontrolü ve güvenli bir şekilde çalışması açısından önemlidir. Verilerin okunarak doğru bir biçimde aktarım işlemi BMS sisteminin haberleşme altyapısı ile ilgili olan bir durumdur. BMS sistemlerinde farklı türde haberleşme protokolleri kullanılabilir. Ancak

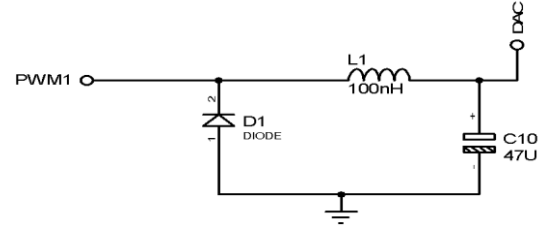
söz konusu taşıt sektörü olunca bu tür sistemlerde yüksek güvenilirliği nedeniyle özellikle CAN haberleşme protokolü tercih edilmektedir. Çünkü verilerin okunurken ve gönderilirken hata meydana gelme olasılığı CAN haberleşme protokolünde en düşüktür (Tian-jun et al. 2016, Ismaila et al. 2015). Bu çalışmada da dört batarya hücrelerini pasif dengeleme metodu ile şarj edebilen bir BMS sistemi tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan BMS sisteminde Master-Slave mantığına dayalı olarak sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. BMS sisteminde bütün hücrelerde STM32f103C8 mikroişlemcisi kullanılmıştır. Hücrelerin birbiri ile haberleşmesi için CAN protokolü kullanılırken verilerin bilgisayara aktarımı için seri haberleşme protokolü kullanılmıştır. Pasif dengeleme yöntemi kullanılarak dört batarya hücresinin şarj işlemi gerçekleştirilmiştir. MOSFET anahtarlama elemanları taş direnç gibi kullanılarak fazla enerji bu devre elemanları aracılığı ile ısı enerjisi olarak P kanallı MOSFET'lerin üzerinde harcanmıştır. MOSFET'lerin lineer modda kontrolü amacı ile bir dijital analog dönüştürücü (DAC) devre tasarlanmış ve başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Böylelikle literatüre farklı bir DAC devresi kazandırılarak katkıda bulunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1 BMS Sisteminde Kullanılan Pasif Dengeleme Metodu

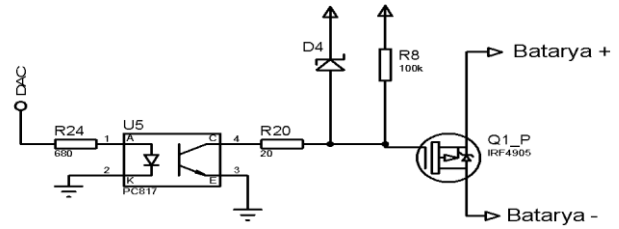
BMS sisteminin önemli parçalarından biri şarj kontrol ünitesidir. Bu üniteye pasif dengeleme tekniğine dayalı şarj yöntemi kullanılmıştır. Batarya hücreleri pasif dengeleme yöntemi kullanılarak şarj edilmiştir. Bu yöntemde, aşırı gerilime neden olan enerji miktarı MOSFET üzerinde ısı enerjisi olarak harcanmaktadır. Pasif dengeleme kontrol devre şeması ve devre elemanları Şekil 1'de gösterilmektedir. DAC devresinin girişine PWM sinyali uygulanmaktadır. DAC devresi düşürücü (Buck) tip dönüştürücü devre topolojisinin çıkış filtresinden oluşmaktadır. Devrenin girişine uygulanan PWM sinyali, bu devre üzerinden sabit bir gerilime dönüştürülür. Böylece, sabit ve düşük gerilim değeri tasarlanmış DAC devresinin çıkışında elde edilebilmektedir. Bu devre endüktans (L1), diyot (D1) ve kapasitans (C10) bileşenlerinden

oluşur. Şekil 1'de tasarlanmış olan DAC devresi görülmektedir.



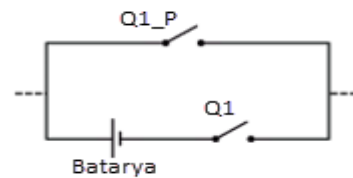
Şekil 1. Tasarlanan DAC devresi

Şekil 1'deki DAC devresinin çıkışından sabit bir gerilim elde edilmektedir. Bu sabit gerilim değeri Şekil 2'deki Q1_P isimli yarıiletken MOSFET elemanının Gate ucuna uygulanmaktadır. Bu yöntem ile Q1_P elemanı lineer modda kontrol edilerek direnç gibi kullanılabilir. Devrede düşük Gate gerilimlerinde anahatarlanabilme özelliğinden dolayı NDP6020 P kanallı bir MOSFET kullanılmıştır.



Şekil 2. BMS sisteminin pasif dengeleme için kullanılan kontrol devresi

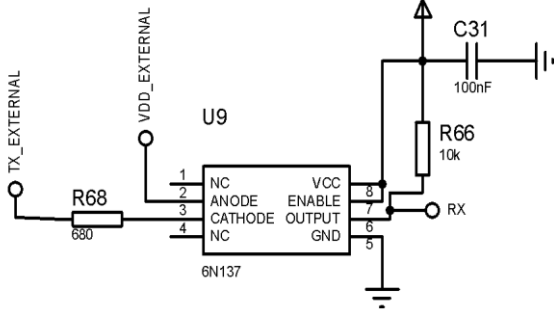
Pasif dengeleme tabanlı şarj kontrol devresinin basitleştirilmiş hali Şekil 3'de görülmektedir. Şarj kontrol devresinde iki anahtarlama elemanı kullanılmaktadır. Bu anahtarlama elemanlarından Q1 N kanallı MOSFET olup diğeri de pasif dengelemede direnç özelliğinde kullanılan Q1_P isimli P kanallı MOSFET elemanıdır.



Şekil 3. Pasif dengeleme tabanlı BMS kontrol devresinin basitleştirilmiş hali

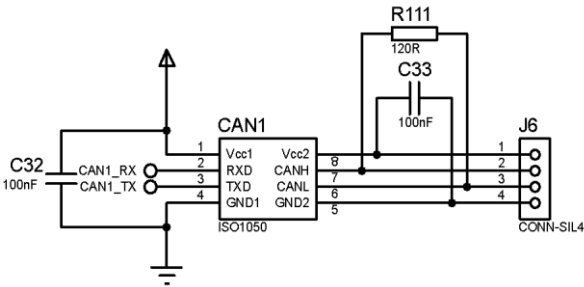
2.2 BMS Sisteminin CAN ve UART Protokolü Tabanlı Haberleşme Devresi

BMS sisteminde UART haberleşme birimi batarya hücrelerinden toplanan verilerin bilgisayara aktarımı için kullanılmaktadır. UART devresinde 6N137 tip optokuplör entegresi kullanılmıştır. Şekil 4'de BMS sisteminde kullanılan UART haberleşme protokolü devresi görülmektedir.



Şekil 4. UART haberleşme protokolü devresi

Slave hücrelerin Master hücreye verilerinin aktarımı için de CAN haberleşme protokolü kullanılmaktadır. Her hücreye atanan kimlik bilgisine göre veriler Master hücreye sırasıyla aktarılmaktadır. Bu haberleşme işlemi için CAN alıcı-verici entegresi olarak ISO1050 entegresi kullanılmıştır. Kullanılan bu entegre izoleli olduğundan dolayı BMS sisteminde meydana gelebilecek bir arıza durumunda diğer hücrelerin etkilenmesini engelleyecektir. Şekil 5'de BMS sisteminde kullanılan CAN haberleşme protokolü devresi görülmektedir.

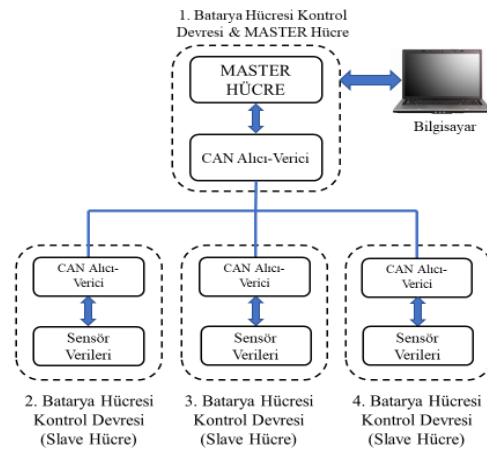


Şekil 5. CAN haberleşme protokolü devresi

2.3 Tasarlanan BMS Sisteminin Genel Görünümü

BMS sistemi genel olarak dört batarya hücrelerini kontrol edebilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu hücrelerden biri Master diğer üçü ise Slave hücre olacak şekilde sistemin donanım ve yazılımı oluşturulmuştur. Master hücre bu tasarımda hem kendi üzerindeki sensör verilerini okumakta hem de Master ve Slave hücelere bağlı olan batarya hücrelerinin şarj veya deşarj işlemlerini kontrol

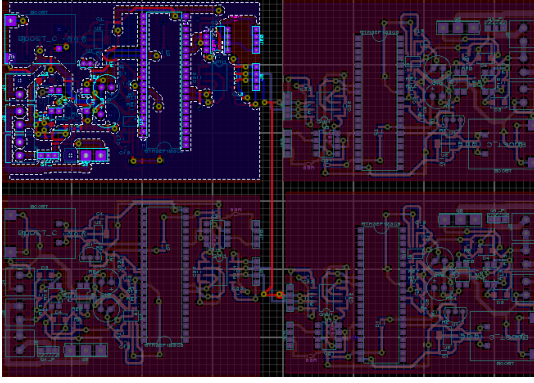
etmektedir. Slave hücrelerde bulunan akım, gerilim ve sıcaklık sensörlerinden sensör bilgileri okunarak Master hücreye aktarılmakta ve Master hücrede oluşturulan pasif dengeleme algoritmasına göre gerekli kontrol işlemleri gerçekleştirilmektedir. Master hücrede toplanan bütün veriler de UART protokolü ile bilgisayarda Visual Studio programı kullanılarak C# dili ile oluşturulan arayüze aktarılmaktadır. Bu arayüz aracılığı ile toplanan gerilim, akım ve sıcaklık verileri Sqlite programı aracılığı ile veri tabanına kaydedilmektedir. Sistemin genel görünümü Şekil 6'da verilen blok şemada görülmektedir.



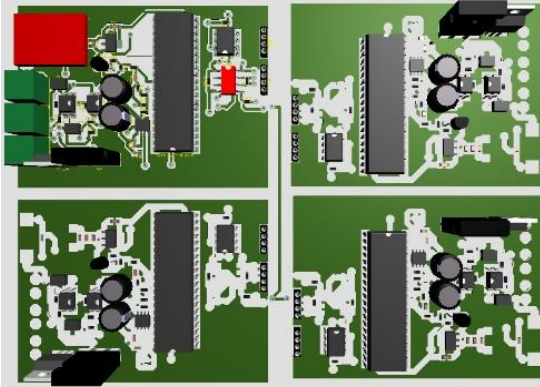
Şekil 6. BMS sisteminin genel blok şeması

2.4 Tasarlanan BMS Sisteminin Devre Tasarımı ve Uygulaması

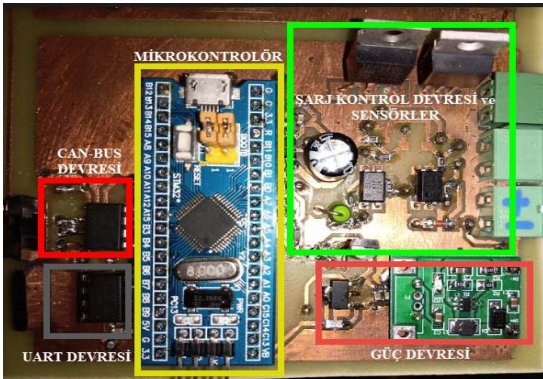
BMS sistemi için devre kartı tasarımı Proteus programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. BMS kontrol devresi için bütünleşik olarak tek bir kart yapısı tercih edilmiştir. CAN High ve Low hattı dört hücrenin de kolaylıkla bağlanabileceği bir tasarımla BMS devrelerinin ortasından geçecek şekilde konumlandırılmıştır. BMS devresinin ARES programında oluşturulan çizimi ve üç boyutlu tasarımı Şekil 7 ve Şekil 8'de sırası ile görülmektedir. Bu tasarım aşamasından sonra BMS kartının lehimleme ve montaj işlemleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 9'da bir hücredeki kontrol devresini oluşturan kısımlar devre üzerinde gösterilmiştir. Şekil 10'da ise BMS kartının tamamlanmış hali görülmektedir.



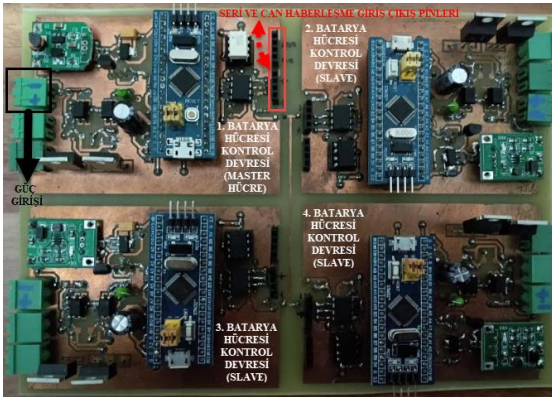
Şekil 7. BMS devresinin ARES programı çizimi



Şekil 8. BMS devresinin üç boyutlu devre modeli



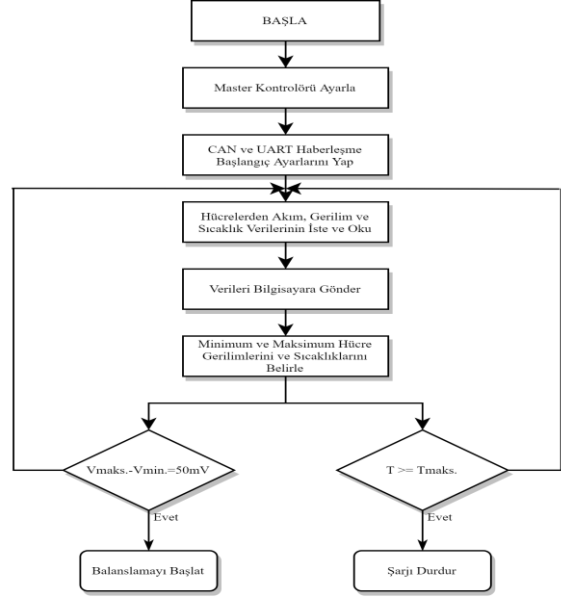
Şekil 9. BMS sistemindeki bir hücrenin devre yapısı



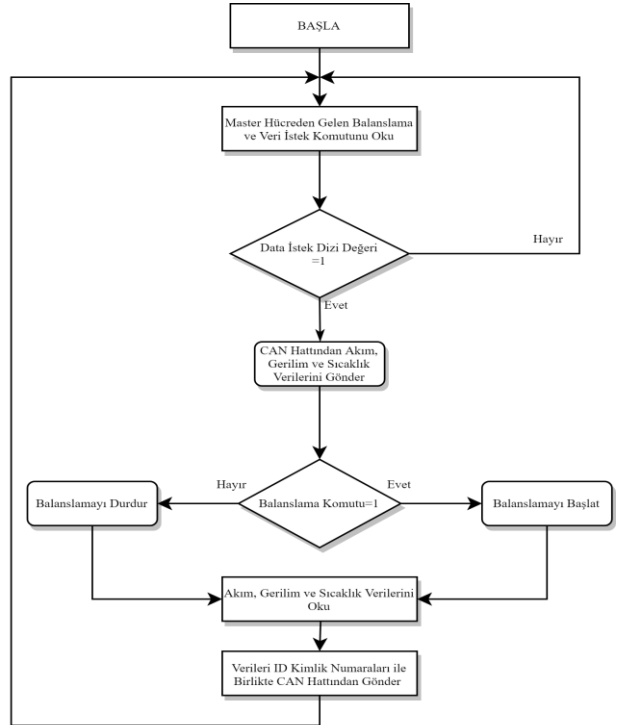
Şekil 10. Tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmiş olan dört hücreli BMS sistemi devresi

3. Pasif Dengeleme Tabanlı BMS Sistemin Kontrol Algoritmaları

BMS sistemi Master ve Slave mantığına göre oluşturulduğundan dolayı BMS sisteminde Master ve Slave hücrelerde uygulanmak üzere iki temel algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmalar sırası ile Şekil 11 ve Şekil 12’de görülmektedir.



Şekil 11. Master hücrede geliştirilen algoritma



Şekil 12. Slave hücrelerde geliştirilmiş olan algoritma

Master hücrede geliştirilen algorithmada ilk olarak giriş ayarlamaları gerçekleştirildikten sonra UART ve CAN haberleşme için gerekli olan başlangıç

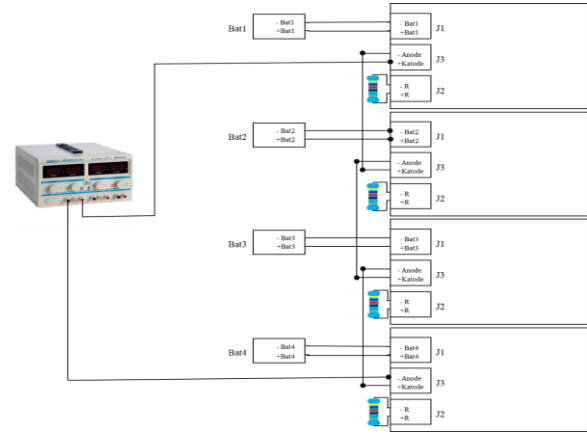
ayarlamaları yapılır. Slave hücrelerden akım, gerilim ve sıcaklık verileri okunur ve okunan veriler bilgisayara aktarılır. BMS sistemi gerilime dayalı olarak kontrol edildiğinden dolayı hücrelerin maksimum ve minimum gerilim değerleri belirlenir. İki hücre arasındaki gerilim farkı 50mV seviyesinden fazla olduğu durumda gerilim değeri yüksek olan hücreye balanslama işleminin yapılmasına yönelik komut gönderilir. Eğer fark 50mV değerinden az ise hücrelerde balanslama işlemi gerçekleşmeden şarj olmaya devam eder. Ayrıca güvenlik amaçlı olarak sıcaklığın belirlenen maksimum değeri aşma durumunda sistemin uyarı vermesi sağlanarak şarj işlemi sonlandırılır.

Slave hücrelerde geliştirilen algoritmada ise ilk olarak Master hücreden alınan komutlar incelenir. Master hücreden Slave hücrelere balanslama bilgisi ve veri istek bilgisi gönderilir. Bu mesajlardaki bilgilere göre Slave hücrede balanslama yapılıp yapılmayacağı ve Slave hücreden Master hücreye veri gönderiminin olup olmayacağı durumları anlaşılır. Eğer veri isteme komutu "1" ise Slave hücredeki akım, gerilim ve sıcaklık bilgileri CAN hattı ile Master hücreye gönderilir. Eğer 0 ise herhangi bir veri gönderimi talebinde bulunulmadığı için Master hücre veri okuma işlemini gerçekleştirmez. Balanslama komutunun "1" olduğu durumda hücredeki şarj kontrol devresi aracılığı ile balanslama işlemi gerçekleştirilir. Eğer "0" olur ise balanslama gerçekleştirilmez. Bu süreç devam ederken aynı zamanda hücrenin son sensör değerleri okunur ve Slave hücreye verilmiş olan kimlik numarası ile birlikte CAN hattı üzerinden veriler Master hücreye gönderilir.

4. Bulgular

Pasif dengeleme tabanlı BMS sisteminin tasarımı ve uygulaması başarı ile gerçekleştirilmiş olup deney bağlantı şeması Şekil 13'deki gibi oluşturulmuştur. BMS sisteminde bataryaların şarj işlemi için sabit DC güç kaynağı kullanılmıştır. Şarj akımı bu DC kaynaktan sağlanmıştır. CAN izole entegrelerinin çıkış besleme gerilimleri de ek olarak farklı bir kaynak tarafından 5V verilerek gerçekleştirilmiştir. BMS sistemi için oluşturulan arayüz ekranı Şekil 14'de, Lityum-iyon batarya tabanlı gerçek zamanlı

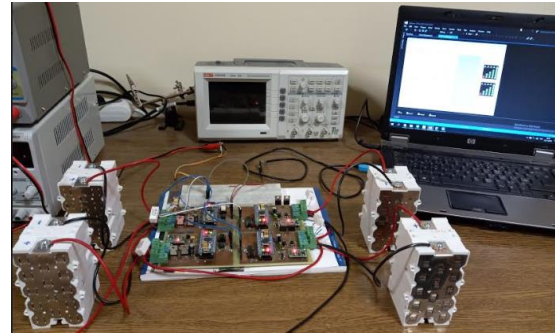
gerçekleştirilen BMS sistemi de Şekil 15'de görülmektedir.



Şekil 13. BMS sisteminin bağlantı şeması



Şekil 14. C# tabanlı oluşturulan BMS sistemi arayüzü



Şekil 15. Oluşturulan BMS sistemi

Çizelge 1'de, sırasıyla bir batarya hücresi tarafından uygulanan farklı V_{GS} gerilimlerine göre akan balanslama akımı ve MOSFET'in $R_{DS(on)}$ direnç değişimini göstermektedir. $R_{DS(on)}$ değerleri aşağıda verilmiş olan Denklem (1) kullanılarak belirlenmiştir.

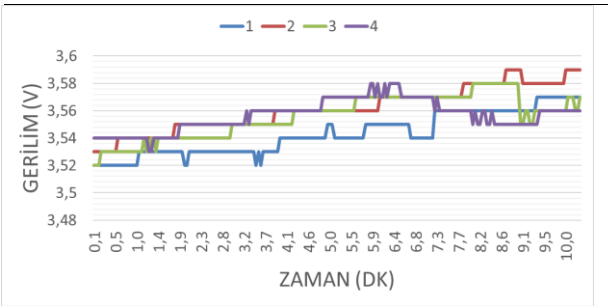
$$R_{DS(on)} = \frac{V_{Bat}}{I_B} - 5 \quad (1)$$

Bu farklı gerilimler sonucunda dengeleme akımlarının ve MOSFET R_{DS} direnç değerlerinin değiştiği görülmektedir. Tablodaki R_{DS} değerleri batarya gerilimi 3,6V olduğunda elde edilmiştir.

Tablodaki değerler incelendiğinde, V_{GS} gerilimi -2.2V olduğunda MOSFET'in kesim bölgesinde olduğu görülmektedir. Bu durumda, MOSFET'den akım akmamaktadır. V_{GS} gerilimi -3.6V olduğunda, $R_{DS(on)}$ 'un değeri 0.08Ω olarak belirlenmiştir. NDP6020P tipi MOSFET, BMS sistemindeki kontrol kartlarında P-kanal MOSFET olarak kullanılmıştır. Bu MOSFET'in veri sayfası incelendiğinde, iletim sırasında MOSFET'in direnç değerinin 0.08Ω olduğu anlaşılmaktadır. Çizelge 1'deki değerlerden görülebileceği gibi, MOSFET'in Gate pinine -3.6V uygulandığında MOSFET'in tamamen iletime geçtiği görülmektedir.

Çizelge 1. Pasif Dengeleme Devresinde Linear Modda Direnç Olarak Kullanılan P-Kanallı MOSFET'in Değişken V_{GS} gerilimindeki Direnç Değerleri

V_{GS} (V)	Balanslama Akımı (A), I_b	MOSFET $R_{DS(on)}$ Direnç Değeri (Ω)
-3.6	0.70	0.08
-3.5	0.65	0.53
-3	0.36	5
-2.7	0.21	12.1
-2.4	0.06	55
-2.2	0.02	Yüksek(Kesimde)



Şekil 16. BMS sistemindeki bataryaların şarj zaman grafiği

Dört batarya hücresinin şarj işlemi sırasında zamana göre değişen gerilim grafiği Şekil 16'da görülmektedir. Batarya hücreleri seri bağlı bir şekilde pasif tabanlı BMS sistemi kullanılarak aynı anda şarj işlemi gerçekleştirilmektedir. Batarya hücrelerinin şarj işleminden önceki gerilim değerlerinin 3.52V civarında olduğu Şekil 16'da verilen grafikten anlaşılmaktadır. Şarj işleminden sonra batarya hücrelerinin gerilimi yaklaşık olarak 3.60V değerine yükseldiği şarj zaman grafiğinden görülmektedir. Bu şarj işlemi sürecinde tüm hücreler pasif dengeleme tekniği kullanılarak şarj edilmiştir. Şarj işlemi yaklaşık olarak 10 dakika sürmüştür. Şarj işlemi sürecinde kaynak gerilimi 17,4V değerine

ayarlanmış olup şarj akımı ise 0,6A olarak ölçülmüştür. Şarj işlemi sürecinde herhangi iki batarya hücresinin arasındaki gerilim farkı 50mV değerinden büyük olmadığı için balanslama işlemi gerçekleşmemiştir. Bu durumun nedeni ise kullanılan batarya hücrelerinin başlangıç gerilim değerlerinin birbirine oldukça yakın olmasından kaynaklanmaktadır. Şarj işlemi sürecinde de batarya hücrelerin gerilimleri yaklaşık olarak aynı oranda artmıştır. Bu nedenle de şarj süreci içerisinde de balanslama olmadan şarj işlemine devam edilmiştir.

5. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada pasif dengeleme tabanlı dört hücreli bir BMS sistemi tasarlanmış ve uygulaması başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Kontrol birimi olarak STM32f103C8 mikroişlemcisi kullanılmıştır. CAN haberleşme protokolü tabanlı bir veri toplama ve kaydetme sistemi yazılımsal ve donanımsal olarak oluşturulmuştur. BMS sisteminde Slave-Master mantığı kullanılmıştır. Pasif dengeleme yönteminde direnç yerine P kanallı bir MOSFET lineer modda kontrol edilerek devre tasarımı bu yöntemle gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda orijinal bir DAC devresi tasarımı gerçekleştirilerek pasif dengeleme tabanlı BMS devresinde kullanılmıştır. Bataryalar şarj edilirken balanslama işlemi gerçekleşmemiş olup hücrelerin gerilim değerlerinin şarj sürecince 3.52V'dan 3.60V değerlerine kadar arttığı gözlemlenmiştir. Tasarlanan ve uygulaması gerçekleştirilen BMS sistemine bağlı olan Lityum-iyon bataryaların şarj işlemleri başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiş ve farklı çalışmalar yapmaya yönelik bir BMS sistemi alt yapısı oluşturulmuştur.

6. Kaynaklar

- Cao, J., Schofield, N., Emadi, A., 2008. Battery balancing methods: A comprehensive review. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, Harbin, China,
- Farmann, A. and Sauer, D. U., 2016. A comprehensive review of on-board State-of-Available-Power prediction techniques for lithium-ion batteries in electric vehicles. *Journal of Power Sources*, **329**, 123-137.
- Ismail, K., Nugroho, A., Kaleg, S., 2017. Passive balancing battery management system using MOSFET internal resistance as balancing resistor. *International*

- Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA)*, Jakarta, Indonesia
- Ismaila, K., Muharama, A., Pratama, M., 2015. Design of CAN bus for research applications purpose hybrid electric vehicle using ARM microcontroller. *Energy Procedia*, **68**, 288 – 296
- Kurzweil, P., Gaston, P., 2010. The genesis of the first practical rechargeable battery. *Journal of Power Sources*, **14**, 4424-4434.
- Kutkut, N.H. and Divan, D.M., 1996. Dynamic Equalization Techniques for Series Battery Stacks. *IEEE Telecommunications Energy Conference*, Boston, USA.
- Lagraoui, M., Doubabi, S., Rachid, A., 2014. SOC estimation of Lithium-ion battery using Kalman filter and Luenberger observer: A comparative study. *International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*. Ouarzazate, Morocco.
- Lin, S.L., Huang, K.L., Wang, I.C., Chou, I.C., Kuo, Y.M., Hung, C.H. and Lin, C., 2016. Characterization of spent nickel–metal hydride batteries and a preliminary economic evaluation of the recovery processes. *Journal of the Air & Waste Management Association*, **66**, 296-306.
- Muratoğlu, Y., 2017. Elektrikli Araçlarda Kullanılan Lityum İyon Pillerin Şarj Durumlarının Kokusuz Kalman Filtresi İle Kestirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 120
- Nana, W., 2015. Design and application of Battery Electric Vehicle (BEV) power information acquisition system based on CAN bus. *5th International Conference on Education, Management*, Shenyang, China.
- Rydh, C.J. and Svärd, B., 2003. Impact on global metal flows arising from the use of portable rechargeable batteries. *Science of the Total Environment*, **302**, 167-184.
- Saw, L.H., Ye, Y. and Tay, A.A.O., 2014. Electro-thermal analysis and integration issues of lithium ion battery for electric vehicles. *Applied Energy*. **131**, 97-107.
- Thomas, A. and Zhu, W., 2009. Fast Equalization for Large Lithium Ion Batteries. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, **24**, 27-31
- Tian-jun, Z., Zhi-cheng, W., Yang, W. and Ruo-yu, Z., 2016. The Parameter Analysis System of CAN Bus for Electric Vehicle Based on LabVIEW. *6th International Conference on Machinery, Materials, Environment, Biotechnology and Computer*, Tianjin, China
- Xu, J., Mei, X. and Wang, J., 2018. A High Power Low-Cost Balancing System for Battery Strings. *10th International Conference on Applied Energy*, Hong Kong, China