

Elektrikli Araç Batarya Sistemleri İçin Aktif Hücre Dengeleme Sistemi

An Active Balancing System for Electric Car Batteries

Mehmet Karadeniz, Ceyhan Sezenoğlu, Abdulkadir Balıkcı

Elektronik Mühendisliği

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü

mkaradeniz@gyte.edu.tr, sezenoglu@gyte.edu.tr, a.balikci@gyte.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, elektrikli araç batarya sistemleri için hücre dengeleme sistemleri araştırılmıştır. Araştırılan sistemler içerisinde en iyisi belirlenmiş ve modellenmesi yapılmıştır. Aktif hücre dengeleme sistemleri içerisinde hareketli kondansatör yöntemi modellenmiştir. Modellemesi yapılan yöntemlerin gerilim ve şarj durumlarını gösteren grafikler gösterilmiştir. Aktif dengeleme sistemlerinde enerji, gerilimi yüksek olan hücreden gerilimi düşük olan hücreye transfer edilirken, pasif dengelemede gerilimi yüksek olan hücredeki fazla enerji bir direnç üzerinden ısı olarak boşaltılmaktadır. Aktif dengelemede karmaşık bir kontrol devresi olmasına rağmen enerji ısı olarak harcanmadığı için, aktif dengeleme yönteminde verim daha yüksektir.

Abstract

In this study cell balancing systems for electric vehicle battery systems were researched. In the researched systems the best one was selected and modeled. Active cell balancing systems were modeled with capacitor method. Figures of voltage and charge states of the modeled systems were given. In active balancing, energy was transferred from high voltage cell to low voltage cell, in passive balancing the excessive energy in high voltage cell was consumed as heat. Although active balancing required a complex control circuit, since no energy is consumed as heat, its more efficient than the passive balancing.

1.Giriş

Elektrikli araçlarda en büyük problemlerden birisi yeterli olmayan batarya kullanım süreleridir. Bataryanın ömrünün uzatılması için yapılan çalışmalar genellikle batarya grubunda bulunan hücrelerin aynı gerilime sahip olmalarını sağlamaya yönelik çalışmalardır.

Bataryalar seri haldeki birçok hücreden oluşmaktadır. Bataryanın uzun ömürlü olması bataryada bulunan hücre gruplarının hepsinin gerilimlerinin eşit olmasıyla mümkündür. Çünkü bir bataryanın boşalma noktasını bataryada bulunan en düşük gerilime sahip hücre belirlemektedir. Düşük gerilime sahip bir hücre, tüm bataryanın ömrünün azalmasına neden olmaktadır. Şarj sırasında yüksek gerilime sahip hücre,

bataryada denge kaybına neden olur ve düşük gerilime sahip hücrenin tam dolmasına izin vermez. Batarya dengeleme sistemleri bu noktada her bir hücrenin gerilim seviyesini, dolayısıyla kapasitesini, birbirine en yakın noktada tutmaya çalışarak batarya grubunun ömrünün uzamasını sağlamaktadır. Bu nedenle hücre dengeleme devresi, her hücre yapısının dengeyi koruma durumunu ve sistemin optimum çalışma noktasını dikkate almalıdır[1].

2.Hücre Dengeleme Sistemleri

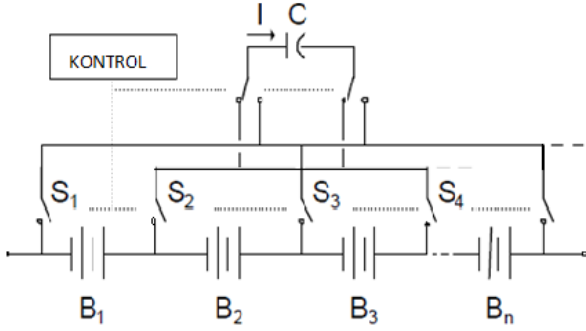
Batarya içindeki her hücre tam şarj ve tam deşarj durumunda aynı gerilime sahip olduğunda batarya grubundaki hücreler dengelenmiş olur. Eğer paket içindeki bir veya daha fazla hücre eşleşmez ise batarya paketi dengelenemez. Toplam paket kapasitesini seri halde bağlı olan hücrelerden en zayıf olanı belirler. Batarya paketi dengelenemediği zaman batarya daha az kullanılabilir kapasiteye sahip olur. Dengesiz bir batarya paketinde, şarj sırasında seri bağlı hücrelerden bir veya birden fazlası diğerlerinden önce maksimum şarj düzeyine ulaşacaktır. Bataryanın şarj olmadığı durumda, tam şarj edilmemiş hücreler serideki diğer hücrelerden daha önce tükenecektir [2]. Basit şekliyle bu sistemde yüksek doluluk durumuna erken ulaşan zayıf hücrelerin daha fazla şarj olması engellenir ve diğer hücreler dolana kadar bekletilir. Diğer durumda zayıf doluluk oranına sahip hücrenin erken deşarj olması engellenecektir.

Hücre dengeleme sistemleri, aktif dengeleme ve pasif dengeleme sistemleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar.

2.1 Aktif Dengeleme Yöntemi

Aktif dengeleme yönteminde enerjisi fazla olan hücreden enerjisi düşük olan hücreye enerji transfer edilmesi söz konusudur. Aktif dengelemede birçok teknik söz konusudur.

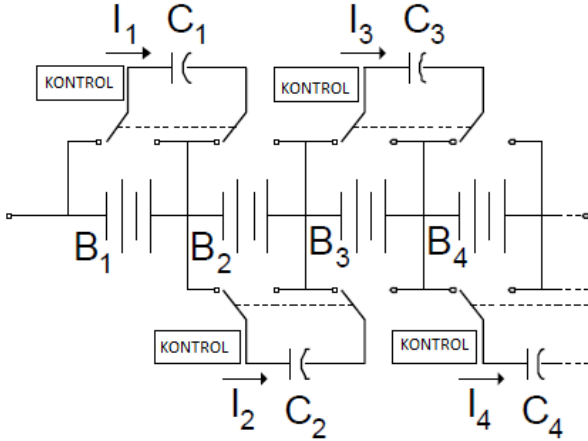
Bu tekniklerden birincisi hareketli kondansatör yöntemidir. Hareketli kondansatör yöntemi Şekil 1'de gösterilmiştir. Buradaki teknik; yan yana bağlı olan hücreleri kontrol ederek, enerjisi fazla olan hücreden kondansatöre, oradan da enerjisi az olan hücreye enerji transferi yapılmasıdır. Daha sonra bu işlem tüm seri hücreleri ikili olarak kontrol ederek dengelemeyi sağlamaktadır.



Şekil 1: Hareketli Kondansatör Yük Transfer Yöntemi

Hareketli kondansatör yönteminin diğer bir şekli ise batarya grubunda ki en yüksek gerilime sahip hücreden en düşük gerilime sahip hücreye enerji transfer edilmesidir. Bu çalışmada bu yöntemin modellenmesi yapılmıştır. Bu yöntem yan yana bulunan hücelere bakılarak yapılan hareketli kondansatör yöntemine göre daha avantajlı ve daha hızlıdır. Bu yöntemde en yüksek gerilime sahip hücre kondansatörü şarj eder. Daha sonra anahtarlar açılır. Kondansatör ise en düşük gerilime sahip hücreyi şarj ederek sistemin dengelenmesi sağlanır.

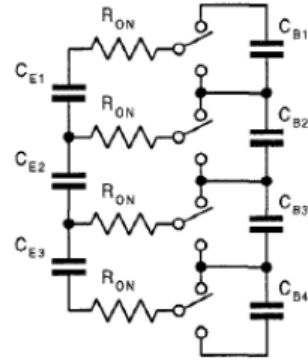
Diğer bir teknik ise çok sayıda kondansatör ile yük transfer etmektir. Çok sayıda yük transfer bloğu yüksek gerilim paketlerini basamaklayabilir. Bu yöntemde eğer hücreler paketin zıt taraflarında ise yüksek hücreden düşük hücreye yük transferi çok fazla zaman alacaktır. Ayrıca yükün baştan sona transferi veriminde düşmesine neden olacaktır [3]. Bu yöntemin bir paketleme avantajı vardır. Her iki hücre için kontrol devresi, güç kaynağı ve kondansatör tek bir besleme içinde paketlenir. Hücre sayısı arttıkça üniteler eklenebilir [3]. Çok sayıda hücre ile yük transfer yöntemi Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2: Çok Sayıda Hücre İle Yük Transfer Yöntemi

Başka bir dengeleme yöntemi ise saat anahtarlamalı kondansatör yöntemidir. Burada Şekil 3'deki gibi yerleştirilmiş bir grup kondansatör batarya doluluk oranlarına bakmadan komşu hücreler arası yük transferi gerçekleştirebilir. Anahtarlama sayesinde yüksek gerilime sahip hücrelerden düşük gerilime sahip hücelere yük transfer

edilir. Kapalı kontrol döngüsüne ihtiyaç duymaz ve şarj sırasında çalışabilir. Ancak n tane bataryanın olduğu yerde n-1 tane kondansatör olduğu için, hücre dengeleme oranı uzun bir süre içinde oluşur.



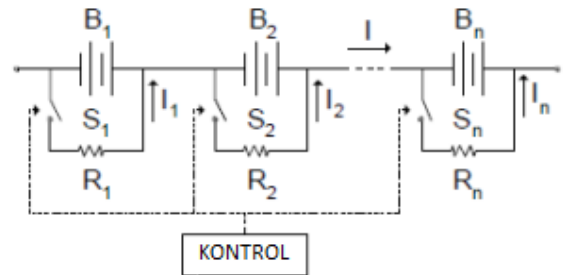
Şekil 3: Saat Anahtarlamalı Kondansatör Yöntemi

Bu tasarımın bir uzantısı olan iki aşamalı kondansatör yöntemi [4] ve [5]'de önerilmektedir. Bunun amacı otomotiv uygulamalarında hücre dengeleme işlemine harcanan zamanı büyük ölçüde azaltmaktır [6].

Bunlara ek olarak, aktif dengeleme yöntemleri içerisinde, bir hücre veya hücre grubunun bir başka hücre veya hücre grubuna enerji taşınması için indüktörler veya transformatorlerin kullanıldığı enerji dönüşümü veya enerji taşınması yöntemi de literatürde bulunmaktadır.

2.2 Pasif Dengeleme Yöntemi

Her bir hücreye bağlanan paralel yüksek güçlü dirençler vasıtasıyla en yüksek gerilime sahip hücre, sistemdeki en düşük gerilimli hücreye ulaşıncaya dek boşaltılır. Pasif dengeleme yönteminde bataryada şarj sırasında elde edilen fazla enerji sistemdeki seri dirençler sayesinde boşaltılmaktadır. Dengeleme dirençleri sürekli devreye alınıp çıkartılarak fazla enerji atılmakta ve sistem dengede tutulmaktadır. Pasif dengeleme yöntemi Şekil 4 de gösterilmektedir.



Şekil 4: Pasif Dengeleme Yöntemi

3. Hareketli Kondansatör Yük Transfer Yöntemi

Şekil 1'deki sistem yapısına bakıldığında; kontrol devresi uygun anahtarları kapatarak, B1 hücresinden C

kondansatörüne enerji aktarımını sağlar ve C kondansatörünü doldurur. Kondansatör şarj edildikten sonra anahtarlar açılır. Daha sonra bu işlem B₂ hücresi için gerçekleştirilir. Uygun anahtarlar kapatılarak C kondansatöründeki enerji B₂ hücresine aktarılır. Böylece kondansatör B₁ ve B₂ arasında enerji dağıtımını sağlar. Kondansatör aynı şekilde B₃, B₄, ..., B_n, B₁, B₂, ... hücrelerini seri halde kullanarak aynı işleme devam eder. En yüksek şarj durumuna sahip hücre C kondansatörünü doldururken, en düşük şarj durumuna sahip hücre C kondansatörü tarafından şarj edilecektir. Bu yolla en çok şarj olmuş hücreler enerjilerini en az şarj olmuş hücrelerle paylaşacaktır. Bu yöntemde, elektronik kontrol devresi sadece gerekli anahtarları açmak ve kapatmak için sabit bir anahtarlama dizisine ihtiyaç duymaktadır [3]. Herhangi bir ölçüme ihtiyaç duymaz. Bu çalışmada gerçekleştirilen hareketli kondansatör yönteminde ise batarya grubunda ki en yüksek gerilime sahip hücreden en düşük gerilime sahip hücreye enerji transfer edilmesidir. Bu yöntem yan yana bulunan hücrelere bakılarak yapılan tekniğe göre daha avantajlı ve hızlıdır. Bu yöntemde en yüksek gerilime sahip hücre kondansatörü şarj eder. Daha sonra anahtarlar açılır. Kondansatör ise en düşük gerilime sahip hücreyi şarj ederek sistemin dengelenmesi sağlanır. Hareketli kondansatör yöntemi hangi hücreleri dengeleyeceğini akıllıca seçebilir. Kontrol devresi tüm hücrelerin gerilimlerini okuyarak, en yüksek gerilime sahip hücreden en düşük gerilime sahip hücreye enerji transferini gerçekleştirir. Bu şekilde kondansatör enerjisi yüksek olan hücreler tarafından doldurulur ve seçilen zayıf hücreler tarafından boşaltılır. Bu yöntem sayesinde, batarya grubunun içinde zıt kutuplarda bulunan yüksek enerjili ve düşük enerjili hücreleri dengelemek için kullanılan zaman önemli ölçüde azaltılabilir [3]. Diğer yönetime göre dezavantajı ise her bir hücrenin gerilim seviyesini ölçmek gereklidir.

Bu çalışmada aktif dengeleme yönteminde en optimum yöntem olarak belirlenen hareketli kondansatör yönteminin modellenmesi yapılmıştır. Aktif yöntemin seçilmesinde fazla enerjinin tekrar kullanılabilmesi etkin olmuştur. Pasif dengelemede fazla enerji atılmakta ve enerji kaybı yaşanmaktadır. Aktif yöntem seçilerek sistem verimi yükseltmek istenmiştir.

Hareketli kondansatör yönteminde yüksek verimlilik vardır. Ayrıca bu yöntem batarya grubunun dengelenme süresini azaltmaktadır. Bu sistem hem şarj hem de deşarj sırasında çalışabildiği için büyük avantaja sahiptir. Bu yöntemin tek dezavantajı ise karmaşık bir kontrol yapısının olmasıdır.

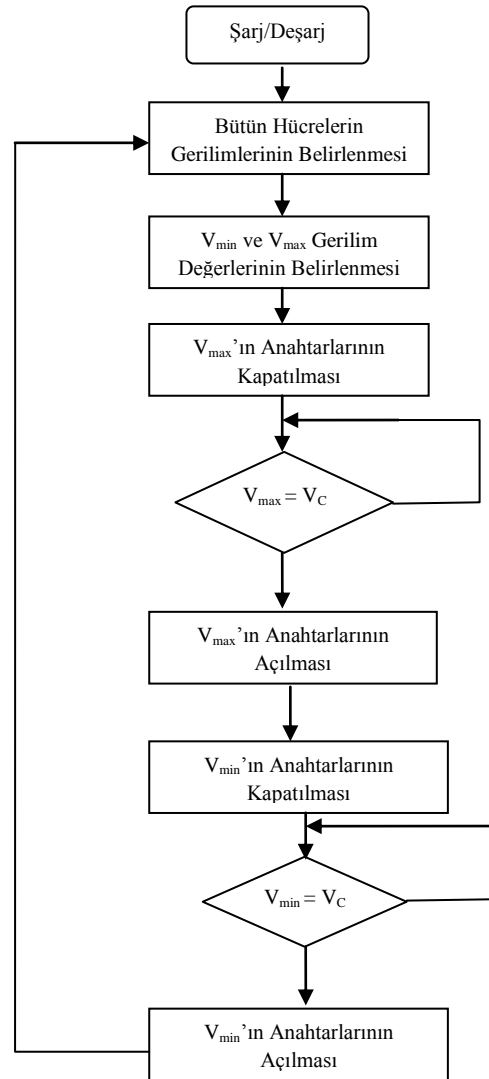
3. Simulink Modellemesi

Hareketli kondansatör yönteminin modellenmesi için belirlenen akış şeması Şekil 5'de gösterilmektedir. Bu şemaya göre sisteme ait kontrol devresi ilk olarak hücre gerilimlerini belirlemekte ve gerilimi en yüksek ve en düşük olan hücreleri seçmektedir. Gerilimi en yüksek olan hücre ile kondansatör arasındaki anahtarlar kapatılarak kondansatörün dolması sağlanmaktadır. Daha sonra sistem gerilimi en düşük olan hücre ile kondansatör arasındaki anahtarları kapatarak hücrenin kondansatör tarafından şarj edilmesini sağlamaktadır. Bu işlem sürekli tekrarlanarak batarya grubunun dengelenme işlemi gerçekleştirilmektedir.

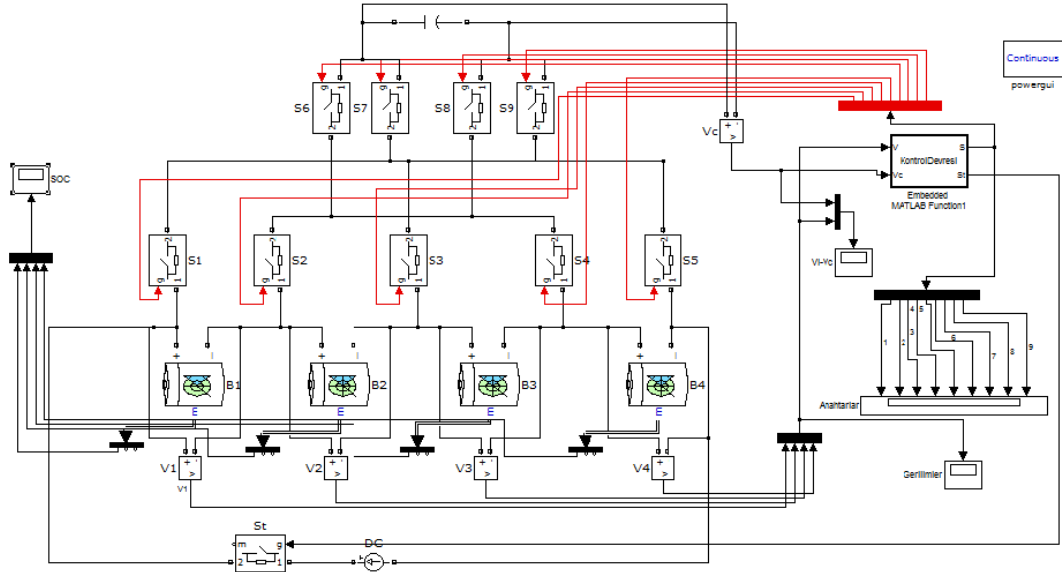
Şekil 5'de gösterilen akış şemasına uygun olarak yapılan Matlab/Simulink modellemesi Şekil 6'de gösterilmiştir. Bu yöntemde n adet hücre kullanılırken n+5 adet anahtar kullanılmakta ve 1 adet kondansatör kullanılmaktadır.

Değişik SOC (Batarya Doluluk Oranı) değerlerine sahip hücrelerin hareketli kondansatör yöntemi ile dengelenmesi Şekil 7'de gösterilmektedir. Şarj doluluk oranları %80, %78, %76 ve %74 olan 4 hücrenin dengelenme işlemi sonunda en yüksek gerilime sahip hücre tam olarak dolduğu zaman en düşük gerilime sahip hücre %99.35 oranında dolabilmektedir. Başlangıçta %6 olan fark dengeleme işlemi sayesinde %0.65 e kadar inmektedir.

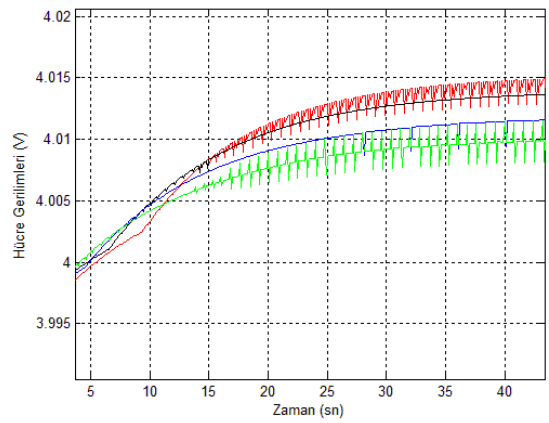
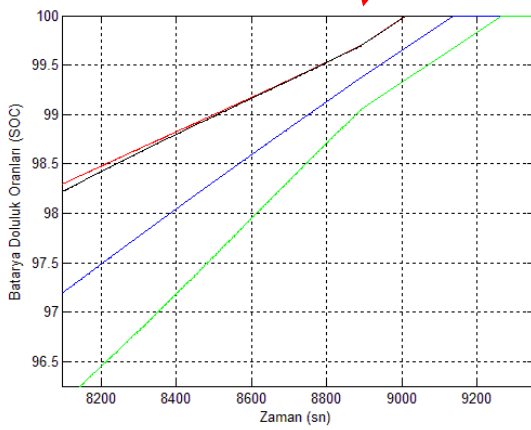
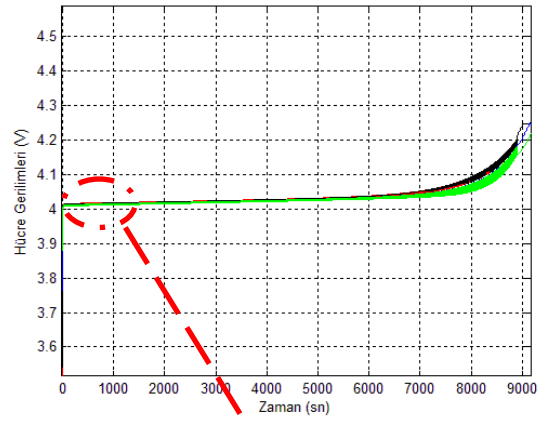
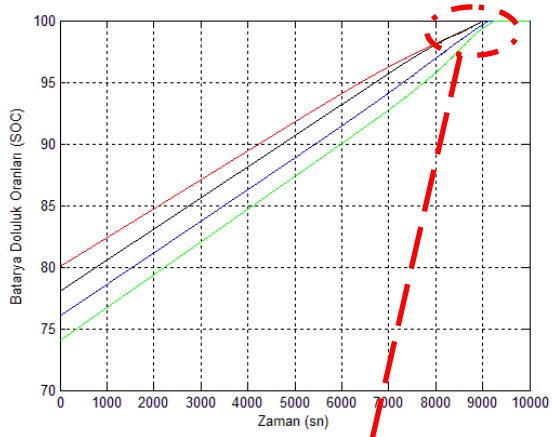
Aynı hücrelere ait gerilim grafiği ise Şekil 8'de gösterilmektedir. En yüksek şarj durumuna sahip hücre tam doluluğa ulaştığında, yani 4.2 Volt gerilime sahip olduğunda, en düşük gerilime sahip hücre 4.17 Volt gerilime sahip olmaktadır. Bu değerlerde bize en yüksek ve en düşük hücre arasındaki farkın tam dolu olduğu durumda 30mVolt olduğunu göstermektedir. 30mVolt ise %2 oranında bir farka denk gelmektedir.



Şekil 5: Hareketli Kondansatör Yöntemi Akış Şeması



Şekil 6: Hareketli Kondansatör Yöntemi Simulink Modellemesi



Şekil 8: Hareketli Kondansatör Yöntemi İle 4 Hücrenin Dengelenmesi (Gerilimler)

Şekil 7: Hareketli Kondansatör Yöntemi İle 4 Hücrenin Dengelenmesi (Batarya Doluluk Oranları)

Şekil 7’de görüldüğü gibi en düşük doluluk oranına sahip hücre diğer hücelere oranla daha hızlı bir şekilde şarj olmaktadır. Ve en yüksek doluluk oranına sahip hücre diğer hücelere göre daha yavaş bir şekilde şarj olmaktadır. Bunun sebebi ise gerilimi daha fazla olan hücrenin gerilimi düşük olan hücreye enerji aktarımında bulunmasıdır.

Benzer biçimde Şekil 8’de görülen grafiklerde ise hücrelerin sürekli olarak dolmaları ve boşalmaları görülmektedir. Kontrol devresinin hücre gerilimlerini her okuyuşunda gerilimi fazla olan hücrede boşalma meydana gelirken, gerilimi az olan hücrede ise ekstra şarj durumu gözlenmektedir.

4. Sonuç

Bu çalışmada elektrikli araç batarya sistemleri için uygulanan hücre dengeleme yönteminde belirlenen optimum yöntem olan hareketli kondansatör yöntemi incelenmiştir. Bu yöntem için Matlab/Simulink modellemesi yapılmıştır ve elde edilen grafikler gösterilmiştir. Grafik sonuçları bize sistemin bilgisayar ortamında düzgün bir şekilde çalıştığını göstermiştir.

Gelecek çalışmalarda yapılan bu simülasyonun uygulanması hedeflenmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 110E209 nolu proje tarafından desteklenmiştir.

5. Kaynaklar

- [1] Rich DelRossi, “Cell Balancing Design Guidelines ” in Microchip Technology Inc. AN231
- [2] Yossi Drori and Carlos Martinez, “The Benefits of Cell Balancing” 2005 AN141.0, July 8
- [3] S. Moore and P. Schneider, “A Review of Cell Equalization Methods for Lithium Ion and Lithium Polymer
- [4] Andrew Baughman and Mehdi Ferdowsi,” Double-Tiered Capacitive Shuttling Method for Balancing Series-Connected Batteries”, 0-7803-9280-9/05/\$20.00 ©2005 IEEE.
- [5] Andrew C. Baughman and Mehdi Ferdowsi,” Double-Tiered Switched-Capacitor Battery Charge Equalization Technique” IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 55, NO. 6, JUNE 2008
- [6] James D. Welsh, Jr., B.S.,” A Comparison of Active and Passive Cell Balancing Techniques for Series/Parallel Battery Packs”, The Ohio State University, 2009