

Elektrikli Araçlarda Kullanılan Lityum-Polimer Aküler İçin Bir Şarj Cihazı Tasarımı

A Lithium-Polymer Battery Charger Design for Electric Vehicles

Tufan KAYIKLI¹, Abdulkadir BALIKÇI¹

¹Elektronik Mühendisliği Bölümü
Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü
tkayikli@gyte.edu.tr, a.balikci@gyte.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, Elektrikli Araçlar için temel enerji kaynağı olan Lityum-Polimer bataryanın şehir şebekesinden şarj edilebilmesi için bir şarj cihazı dizaynı ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bunun için PSIM programında alçaltıcı çevirici ve batarya modeli hazırlanmıştır. Sistemin denetimi programdaki Embedded Software Block üzerinde koşturulan algoritma ile sağlanmıştır. Ayrıca şarj cihazının şebekeye zarar vermemesi ve verimliliğinin artması için güç katsayısı iyileştirme devresi de ilave edilmiştir.

Abstract

In this study, a Lithium-Polymer charger model is developed and simulated for Electric Vehicles. A buck converter and a lithium-polymer battery model is designed on PSIM software. An Embedded Software Block is used to control the charging process. A power factor correction unit is also added for increasing efficiency and power quality.

1. Giriş

Elektrikli Araçlar, sıfır emisyonlu çevreye duyarlı araçlar olmaları nedeniyle petrol türevli araçlara göre daha cazibeli ve güçlü bir alternatiftirler. Birincil enerji kaynağının aynı miktarına %60 daha fazla yol sürüşü sağlayan bu araçların enerji çevrimi de çok etkileyicidir. Elektrikli Araçların sürüş mesafesi ise en önemli sınırlılıklarından biridir. Sabit batarya boyutu ve ağırlığı, günümüz küçük arabalarında sürüş mesafesini 125 mil'e ortalama hızı da 65 mil/h'e çıkarmaktadır [1].

Elektrikli Araçların menzilin artırmak için batarya teknolojileri geliştirilmektedir [2]. Yüksek enerji yoğunlukları ve uzun raf ömürleri, düşük ağırlık ve daha küçük boyut avantajları sayesinde lityum-iyon veya lityum polimer bataryalar, taşınabilir elektronik sistemlerde, elektrikli araçlarda, lineer generatörlerde, uzay ve uçak güç sistemlerinde kullanımı giderek artmaktadır [3,4]. Buna bağlı olarak şarj işlemleri ise yüksek gerilim-akım gereksinimleri ile daha karmaşık algoritmalar içermektedirler [2].

Eski nesil batarya şarj cihazları tam dalga köprü diyot doğrultuculu sistemlerdir[1]. Bu sistemlerin akım harmonikleri oldukça yüksek olup %20.2 - %112.4 arasında olduğu tespit

edilmiştir [5]. İkinci nesil cihazlar ise tristör doğrultuculu olup [1] akım harmonikleri daha düşüktür (%17.12 - %101.81) [5]. Yeni nesil şarj cihazları ise darbe genişlik modülasyonu ile mikro işlemci kontrollü olup [1] çok daha düşük %3.72 – 7.18 harmonik seviyelerine düşmektedir [5]. Ulaşılmak istenen düşünce Akıllı Batarya (Smart Battery) sistemleridir. Bunlar araç içerisinde yardımcı sistemlerle iletişim halinde olup, batarya şarj durumu, enerji uygunluğu, tarifeler ve genel yönetim bilgilerini paylaşacaklardır [1].

Bataryaların Elektrikli Araçlarda kullanımı ve şarj sistemlerine yönelik farklı teknikler geliştirilmiştir. Pratik Mukherjee ve arkadaşları alçaltıcı-yükseltici çevirici ve galvanik izolasyon metodu ile Kuşun-Asit bataryalar üzerinde[6], B. J. Masserant ve arkadaşları yükseltici ve alçaltıcı çeviriciler ile Nikel-Demir bataryalar üzerinde[7], M.F.M. Elias ve arkadaşları Lityum-İyon bataryalar için bir Doğru Akım kaynağı ile hücre dengeleme metodu kullanılarak[4] uygulama yapmışlardır.

Bu çalışmada Lityum-Polimer batarya için yükseltici ve alçaltıcı çeviriciler yardımıyla sabit akım-sabit gerilim bölgelerinde şarj işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunun için öncelikle şebeke gerilim değişimlerinden etkilenmeden DC bara gerilimini sabit tutacak, güç katsayısını yükseltecek ve toplam harmonik dağılımlarını düşürecek bir yükseltici çevirici ve denetleme birimi modellenmiştir. Oluşturulan Lityum-Polimer batarya modeli alçaltıcı çevirici ve işlemci bloğu ile şarj edilmiştir.

2. Sistem Bileşenleri

2.1. Batarya

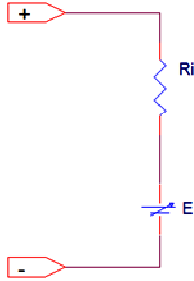
Bataryalar, elektrik enerjisini kimyasal ortamda depolamaya yarayan, Elektrikli Araçlar için temel enerji kaynaklarıdır. Günümüzde oldukça farklı batarya çeşidi bulunmakla birlikte bunlar fiyat, enerji yoğunluğu, güç yoğunluğu, şarj metodu ve çalışma sıcaklıkları bakımından birbirlerinden farklılık gösterirler. Bu çalışmada Lityum-Polimer batarya tercih edilmiştir.

Kullanılan Batarya paketi 80 tane seri bağlı hücrelerden müteşekkildir. Her bir hücrenin ve toplam batarya paketinin özellikleri Tablo-1'deki gibidir [8];

Tablo 1: Bataryanın Özellikleri

		Hücre	Batarya Paketi
Kapasite (0.5C, @25 °C)		25.0A	25.0A
Nominal Gerilimi		3.7V	296V
İç Direnci (mΩ)			
Şarj	Akımı	25.0A	25.0A
	Gerilimi	4.2V±0.03V	336 ±2.4V
	Sıcaklığı	0 ~ +40 °C	
Deşarj	Sürekli Akımı	25.0A	25.0A
	Tepe Akımı	125.0A	125.0A
	Kesme Gerilimi	2.7V	216V
	Sıcaklığı	-20 ~ +60 °C	
Çevrim Ömrü		>800	
Boyut(mm)		220x215x6.5	
Ağırlık(g)		620	

Buna göre PSIM programında, bataryanın iç direncinin değişmediği ve batarya sıcaklığının çalışma koşulları dışında çıkmadığı varsayımından bu parametreler ihmal edilmek suretiyle Şekil-1'deki gibi bir batarya modeli oluşturuldu.



Şekil 1: Batarya Modeli

Burada denge potansiyeli [3] olarak adlandırılan E gerilimi, tipik şarj eğrisinden ayarlanarak oluşturulmuş zamana bağlı değişimi ifade eder. R_i ise bataryanın iç direncini temsil etmektedir.

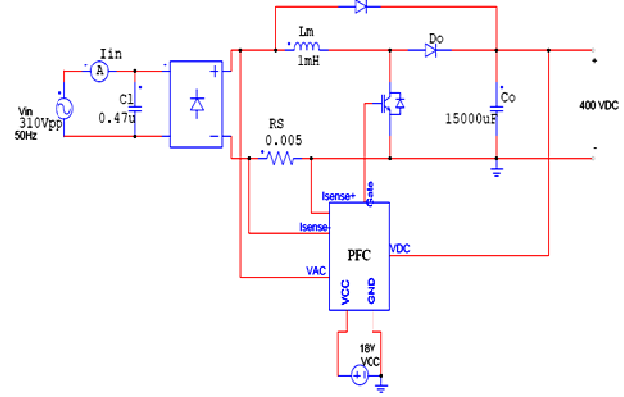
2.2. Devre Topolojisi

Elektrikli Araçların batarya şarjı, yüksek voltaj dağılım seviyelerinde akım harmoniklerinin baskın olmasından dolayı güç dağıtım sistemleri için potansiyel bir problem teşkil etmektedir [9]. Şarj işlemi ile şebekeye salınan harmonikler, şebekenin ortak düğüm noktalarında gerilim bozulmalarına ve şönt kapasitörlerin aşırı yüklenmesine neden olmaktadır [10]. Akım harmonikleri kadar gerilim harmonikleri de enerji kalitesini etkilemekte ve verimliliği düşürmektedir [9].

2.2.1. Güç Katsayısı Düzeltme

Şarj sisteminin şebekeye en az zarar verecek şekilde harmonik bozulmaların etkisini azaltmak ve güç katsayısını yükseltebilmek için Şekil-2'deki gibi köprü tipi doğrultucudan sonra bir güç katsayısı iyileştirme denetimi yapan birim tasarlanmıştır.

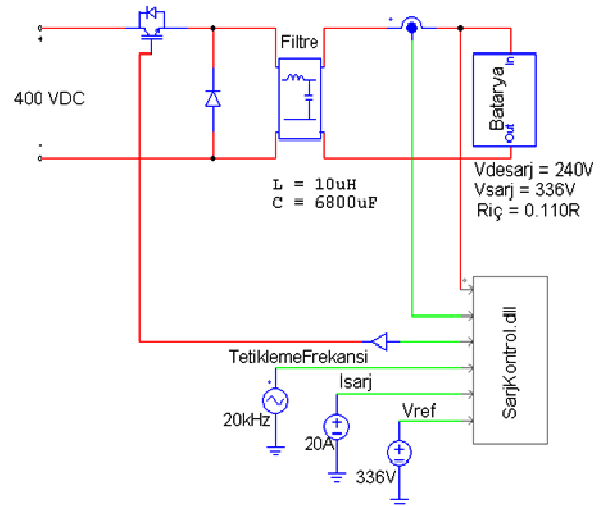
UC3854 denetleyici entegresi ile oluşturulan bu kısım, entegrenin uygulama notunda yer alan tipik uygulama devresinden [11] yola çıkılarak oluşturulmuştur. Bu entegre, ortalama akım-modu kontrolü ile güç katsayısının %99'un üzerine, akım harmoniklerinin ise %5'in altına düşürülmesini sağlamaktadır. Evrensel (85-265 VAC) giriş geriliminde kararlı çalışmasına devam edebilmektedir. [12]



Şekil 2: Güç Katsayısı İyileştirme Devresi

2.2.2. Şarj Kontrol Devresi

Güç katsayısı iyileştirme devresi tarafından regüle edilmiş DC gerilim, bataryayı şarj edebilmek için kontrollü olarak Şekil-3'deki devre ile alçaltılır. Şarj akımı ve gerilimi Embedded Software Block [13] adı verilen bir denetleyici vasıtasıyla sürekli izlenir ve çevircinin darbe genişlik oranları değiştirilmek suretiyle kontrol işlemi gerçekleştirilir.



Şekil 3: Şarj Kontrol Devresi

Embedded Software Block, tipik bir dinamik bağlantı kütüphanesi (DLL) dir. Geleneksel bir DLL'den farkı, giriş/çıkış olarak yapılandırılabilen sabit portlar yerleştirilmiş olmasıdır. Zamana bağlı olarak olayların kurgulanabildiği, giriş portlarının okunması ve çıkış portlarının sürülmesi içerisindeki C kodu ile mümkündür. Özellikle Mikroişlemci veya DSP gibi gömülü aygıtları modellemek amacıyla düşünülmüştür [13].

2.3. Şarj Metodu ve Algoritması

Lityum bataryalar diğer bataryalardan farklı şarj karakterisiğine sahiptir. Bunlar, sabit akım ve sabit gerilim olarak adlandırılan evrelerde şarj edilirler. Batarya şarj parametreleri akım, gerilim ve sıcaklıktır. Lityum bataryanın şarj akımı en fazla 1C yani maksimum kapasiteye eşit veya daha az olmalıdır.[4] Kullanılan batarya için max şarj akımı 20A (0,4C) seçilmiştir. Batarya maksimum 4,2V'ta şarj edilmeli, 3,0V'a kadar deşarj edilmelidir. Asgari deşarj sınırı ise 2,7V'tur[8] .

Sabit akım evresinde, batarya açık devre gerilimine ulaşınca kadar sabit akımda şarj edilir[14]. Bu evrede batarya %85 tam şarj edilmiş olmaktadır[4]. Bu noktadan sonra sabit gerilim evresi başlar ki bu evrede, batarya gerilimi korunarak şarj akımının eşik değerinin altına inmesi ile şarj işlemi tamamlanmış olur[14] .

Şarj kapasitesini Q bulmak için, hücre asgari deşarj gerilimine kadar boşaltılır, daha sonra azami şarj gerilimine (açık devre gerilimi) kadar sabit akımla şarj edilir..

$$Q = (i t)mAh \quad (1)$$

Şarj süresi t ve şarj akımı i 1 no'lu denklemde yerine konularak Q değeri elde edilir[15].

Aynı şekilde bataryanın kapasitans değeri olan C ise, kapasitenin asgari deşarj gerilimi ile azami şarj gerilimi farkına bölümü ile bulunur[16] .

$$C = \frac{(it)}{V} \text{ Farad} \quad (2)$$

Örneğin; 25,0Ah(0,5C)'lik bir hücre 4,2V'tan 2,7V'a kadar deşarj edilirse, batarya paketinin kapasitans değeri Denklem-2'den yararlanarak şöyle bulunur:

$$C = \frac{(25,0 \times 2) \times 3600}{(4,2-2,7) \times 80} = 1500 \text{ Farad} \quad (3)$$

Bataryanın kalan şarj durumu (SOC) ise, Coloumb sayımı, doğrudan batarya gerilimi ölçümü veya gaz ölçümü adı verilen yöntemlerle belirlenebilir. Batarya geriliminin ölçümü en kolay ve en ucuz yöntemdir.[17]

Tüm bu verilerden yola çıkılarak seçilen Lityum-Polimer batarya için Şekil 4'teki algoritma geliştirilmiştir. Batarya çevrim oranının azalmaması için öncelikle bataryanın %70 doluluk oranından (235,2V) daha düşük ise şarj işlemi başlamaz. Sabit Akım evresinde batarya gerilimi 336V'a ulaşınca kadar alçaltıcı çeviricinin darbe genişliği değişken oranda sürekli artırılır. Bu oran çekilen akım ile referans akım değerinin farkının 4 ve 5 no'lu denklemlerdeki PI kontrol metodu ile işlenerek belirlenir. Sabit Gerilim evresi şarj

gerilimi 336V seviyesine ulaştığında başlar, bataryanın çektiği akımın eşik değerini (1A) altına düşürdüğünde biter. Bu evrede gerilimin sabit tutulması amaçlandığından bataryanın aşırı şarj durumuna geçmemesi için alçaltıcı çeviricinin darbe genişlikleri 6 ve 7 no'lu denklemlerdeki PI kontrol hesabıyla ayarlanarak değiştirilir.

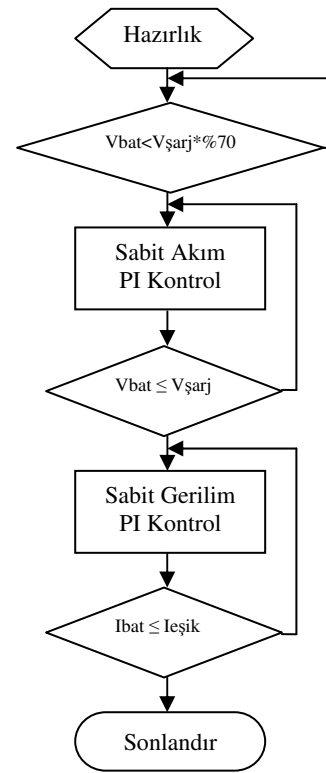
$$e_i = I_{bat} - I_{ref} \quad (4)$$

$$Duty += (K_p \times e_i) + [K_i \times (e_i + e_{ison})] \quad (5)$$

$$e_v = V_{ref} - V_{bat} \quad (6)$$

$$Duty += (K_p \times e_v) + [K_i \times (e_v + e_{ison})] \quad (7)$$

I_{bat}	→	Bataryanın şebekeden çektiği akımın ani değeri
I_{ref}	→	Bataryanın çekebileceği maksimum akım değeri
Duty	→	Alçaltıcı çevirici görev zamanı,
K_p	→	PI Kontrol oran katsayısı
K_i	→	PI Kontrol integral katsayısı
V_{ref}	→	Batarya geriliminin maksimum değeri
V_{bat}	→	Batarya geriliminin ani değeri



Şekil 4: Şarj Kontrol Algoritması Akış Diyagramı

3. Simülasyon Sonuçları

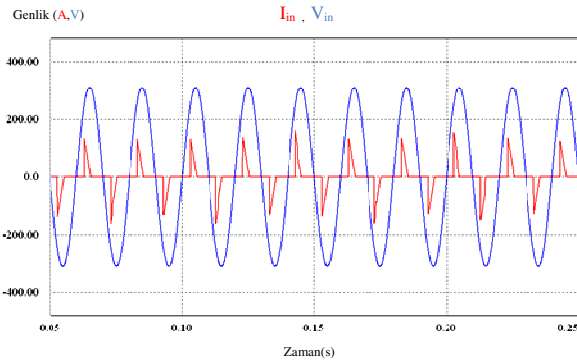
Yukarıda verilen devreler ve şarj kontrol algoritması ile PSIM yazılımı üzerinde gerçekleştirilen simülasyonlar, iki kısma ayrılmıştır. Birinci kısım, güç katsayısı iyileştirme devresi olmaksızın şarj işleminin gerçekleştirilmesi, ikinci kısım ise güç katsayısı iyileştirme devresinin ilave edilerek yapılan simülasyonlar. Simülasyon parametreleri Tablo 2'deki gibi belirlenmiştir.

Tablo 2: Simülasyon Parametreleri

Adım Aralığı (Time Step)	1E-06 (1µs)
Toplam Zaman (Total Time)	4h
Çıktı Aralığı(Print Step)	10
V _{in}	220VAC (310 V _{pp})
I _{şarj} _{referans}	20ADC
V _{deşarj0}	216VDC
V _{deşarj1}	240VDC
V _{şarj} _{referans}	336VDC

3.1. Güç Katsayısı İyileştirilmeden Önceki Simülasyon Sonuçları

Burada giriş gerilimi bir yükseltici çevirici vasıtasıyla 400VDC seviyelerine yükseltılarak batarya şarj edilmiştir. Şekil 5'te görüldüğü gibi giriş geriliminin akım ve gerilim işaretleri arasında faz farkı vardır. Faz açısı doğrultucu çıkışında kullanılan kapasitörün değerine göre değişmektedir. Yapılan ölçümde giriş güç katsayısı 0,52 olduğu tespit edilmiştir.



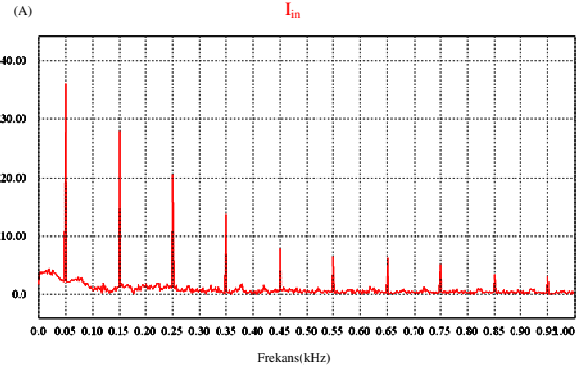
Şekil 5 : Güç Katsayısı İyileştirilmeden Önce Şebekeden Çekilen Akım-Gerilim Grafiği

Şekil 6'da ise giriş akımının frekans domeninde incelenmesi vardır. Burada sistemin şarj akımını karşılayan temel bileşenin (50Hz frekanslı) yanında 3., 5. ve 7. bileşenlerinde kayda değer nicelikte olduğu gözlenmektedir. Denklem-10'da şarj sisteminden şebekeye akımında oluşturulan toplam harmonik bozulumu hesaplanmıştır.

$$\%THD_i = \frac{\sqrt{I_{rms}^2 - I_1^2}}{I_1} \times 100 \quad (10)$$

$$\gg \frac{\sqrt{44,27^2 - 32,19^2}}{32,19} \times 100$$

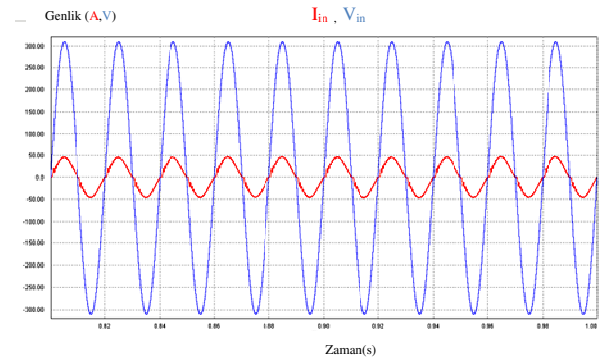
$$THD_i \cong \%94,4$$



Şekil 6 : Güç Katsayısı İyileştirilmeden Önce Şebekeden Çekilen Akımın FFT Analizi

3.2. Güç Katsayısı İyileştirildikten Sonraki Simülasyon Sonuçları

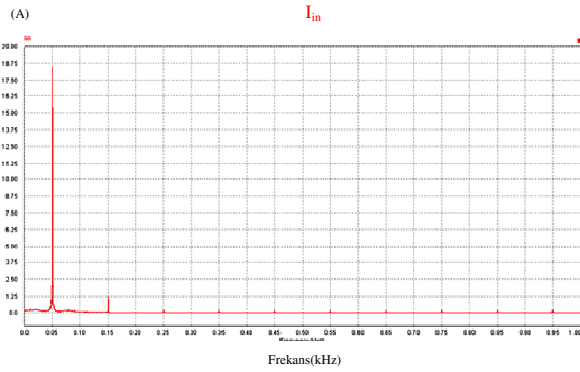
Şekil 2'deki güç katsayısı iyileştirme devresinin sisteme entegre edilmesi ile şebekeden çekilen akımın şebeke gerilimi ile aynı fazda olması sağlanmaya çalışılmıştır. Şekil 7'de şebekeden çekilen akım ve gerilimin güç katsayısı iyileştirme devresi ilave edildikten sonraki grafikleri görülmektedir. Akım sinüsoidal forma oldukça yaklaştırılmıştır. Bu devrenin güç katsayısı 0,993 olarak ölçülmüştür.



Şekil 7 : Güç Katsayısı İyileştirildikten Sonra Şebekeden Çekilen Akım-Gerilim Grafiği

Benzer şekilde şebekeden çekilen akımın frekans domenindeki grafiği Şekil 8'de görülmektedir. Çekilen akımın neredeyse tamamı temel bileşene ait olup sadece 3. harmoniğin var olduğu görülmekle birlikte temel bileşen yanında ihmal edilebilecek seviyededir. Dolayısıyla aktif güç katsayısı düzeltme işlemi sadece verimi artırmakla kalmıyor, şebekeye salınan bozulmaları da yok etmektedir. Bileşenler Denklem 10'daki yerlerine konulduğunda ;

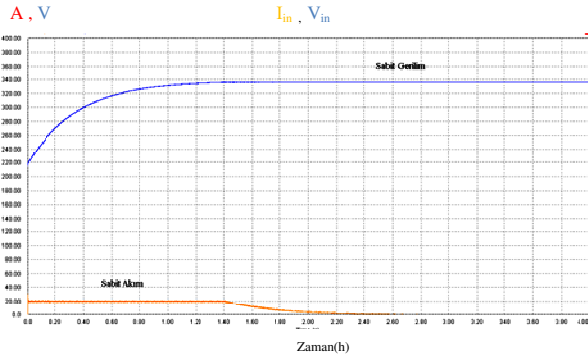
$$\%THD_i = \frac{\sqrt{33,936^2 - 33,81^2}}{33,81} \times 100 \cong \%8,6$$



Şekil 8 : Güç Katsayısı İyileştirildikten Sonra Şebekeden Çekilen Akımın FFT Analizi

3.3. Batarya Şarj Karakteristiği

Dört saatlik simülasyon sonucu batarya modelinin şarj karakteristiği Şekil 9’da verilmiştir. Şarj Gerilimi hücrelerin asgari deşarj sınırı olan 2,7V – Batarya paketi için 216V’tan başlatılmış ve 4,2V – Batarya için 336V, seviyesine kadar tam şarj edilmeleri sağlanmıştır. Sabit Akım ve Sabit Gerilim bölgeleri açıkça belirli olmaktadır. Sabit Akım evresi 1,40 saat olmak üzere şarj işlemi 2,60 saat sürmüştür. Dolayısıyla sabit akım evresi toplam şarj süresinin %53,84’üne tekabül eder. Bu süre şarj akımına bağlı olarak değiştirilebilir.



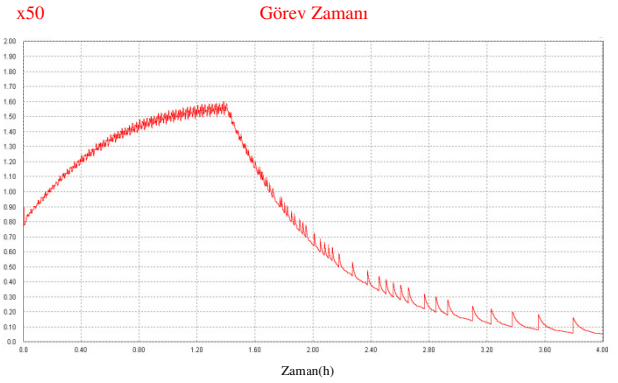
Şekil 9 : Batarya Şarj Gerilimi ve Akımı Grafiği

Bataryanın şarj durumu, gerilim grafiğine bakılarak söylenebilir. Aynı zamanda Şekil 10’da verilen grafik de alçaltıcı çeviricinin görev zamanını vermekle beraber şarj işleminin seyrini de göstermektedir. Dikkat edilecek olursa görev zamanı değişimi sabit akım ve sabit gerilim bölgelerinin birleşimidir. Sabit akım evresinde görev zamanı %80’lere varırken, sabit gerilim evresinde hızla azalma eğilimindedir.

Batarya şarj kapasitesi Q ve C değerleri , Denklem-1’den yola çıkılarak

$$Q = i_{ort} \times t_{toplama} = 14,87 \times 2,6 = 38,662 \text{ Ah}$$

$$C = \frac{(38,662) \times 3600}{(4,2 - 2,7) \times 80} = 1160 \text{ Farad}$$



Şekil 10 : Alçaltıcı Çevirici Görev Zamanı Değişimi

Bu değerler, batarya modelinin gerçeğe %77,33 yaklaştığını göstermektedir.

4. Sonuç

Burada Elektrikli Araçta kullanılacak lityum-polimer batarya paketi için şehir şebekesinden beslenecek bir şarj cihazının simülasyonu yapılmıştır. Öncelikle Kokam firmasına ait SLPB60216216 bataryası için PSIM yazılımı ile bir batarya modeli gerçekleştirildi. Şarj cihazının şebekeye zarar vermemesi ve veriminin çok yüksek olması için güç katsayısı düzeltme birimi Texas Inst. firmasının UC3854 pwm denetleyicisi modeli ile tasarlandı. Son olarak dsp modellemede kullanılan Embedded Block ile şarj kontrol algoritması geliştirildi.

Simülasyon sonuçlarından güç katsayısı iyileştirme sayesinde verimin büyük ölçüde arttığı, şebekeye salınan harmoniklerin başarıyla giderildiği görülmüştür. Bu aynı zamanda ekonomik ve ekolojik özellikleri sayesinde günümüzde hızla gelişen Elektrikli Araç için bütüncü bir özellik olacaktır.

Geliştirilen batarya modeli %77,33 başarılı olmuştur. Sıcaklık ve şarj eğrisinin daha iyi bir yaklaşımı ile bu oran gerçeğe daha da çok yaklaştırılabilir. Bu sayede Elektrikli araçlar için daha emniyetli bir şarj cihazı gerçekleştirilebilir. Benzer olarak deşarj sistemi de ilave edilerek akıllı bir batarya yönetim sistemi geliştirilmesi mümkündür.

Kaynaklar

- [1] Gomez J.C, Medhat M.M, “Impact of EV Battery Chargers on the Power Quality of Distribution Systems”, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.18, no.3, 2008, sy.1.
- [2] M.M. Morcos, Curtis R. Mersman, G.D. Sugavanam, Norman G. Dillman, “Battery Chargers for Electric Vehicles”, IEEE Power Engineering Review, November 2000, sayfa 1.
- [3] Lijun Gao, Shengyi Liu,, and Roger A. Dougal, “Dynamic Lithium-Ion Battery Model”, IEEE Transactions On Components and Packaging Technologies, Vol.25, no.3, September 2002, sayfa 1.

- [4] Elias M.F.M, Rahim N.A ve Arof A.K, “*Lithium-Ion Battery Charger for High Energy Application*”, National Power and Energy Conference, 2003, sayfa. 1.
- [5] Berisha S.H, Ahmad R., Karady G.G,Hobs R., Karner D., “*Current Harmonics Generated by EV Battery Chargers*”, Power Electronics, Drives and Energy Systems for Industrial Growth Conference, Jan 1996, vol. 1, sayfa. 1.
- [6] Pratik Mukherjee, Biswajit Majumdar and Sujit K. Biswas, “*A Single Switch High Power Factor Battery Charger*”, Power Electronic Drives and Energy Systems for Industrial Growth, 1998, sayfa 1.
- [7] Masserant B. J., Stuart T. A., “*A Maximum Power Transfer Battery Charger for Electric Vehicles*”, IEEE Transactions On Aerospace and Electronics Systems Vol. 33, no. 3, July 1997, sayfa 1.
- [8] KOKAM Co. Ltd., SLPB60216216 25Ah Lithium-Polymer Cell Specification Data, http://www.kokam.com/product/product_pdf/high_energy_density/EL-301_SLPB60216216_25Ah_Grade.pdf, erişim : 15.05.2008
- [9] Staats P. T., Grady W. M., Arapostathis A., Thallam R., “*A Statical Analysis of the Effect of Electric Vehicle Battery Charging on Distribution System Harmonics Voltages*”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 13, No. 2, April 1998, sayfa1,7.
- [10] Lian K. L., Perkins B.K., Lehn P. W., “*Harmonics Analysis of a Three-Phase Diode Bridge Rectifier Based on Sampled-Data Model*”, IEEE Transactions On Power Delivery, Vol. 23, No. 2, April 2008, sayfa 1.
- [11] TODD P.C., “*UC3854 Power Factor Correction Circuit Design*”, Application Note U-134, 5 Eylül 1999, Texas Instruments,<http://focus.ti.com/lit/an/slva144/slva144.pdf> ,erişim tarihi : 01.03.2008
- [12] Texas Instruments, “*High Power Factor Controller*”, 5 Eylül 1999, <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/uc3854.pdf>, erişim tarihi: 01.03.2008.
- [13] Powersim Tech. Inc., “*New Features in PSIM ver. 7.0*”, www.powersimtech.com/manual/new_features_psim_v7.0.pdf, erişim tarihi:02.03.2008.
- [14] Tsai C.C, Lin C.Y., Hwang Y.S., Lee W.T., Lee T.Y., “*A Multi-Mode LDO-Based Li-Ion Battery Charger in 0.35µm CMOS Technology*”, IEEE Asia-Pasific Conference on Circuits and Systems, 9 December 2004, sy.2.
- [15] Carlos M., Soylien D., Goodrich R., Chandler L., Magnuson D., “*Using Cell Balancing to Maximize the Capacity of Multi-Cell Li-Ion Battery Packs*”, 7 June 2005,Application Note 167.0, sy.2, Intersil Cooperation, <http://www.intersil.com/data/an/an167.pdf>, erişim:03.03.2008.
- [16] Drori Y., Martinez C., “*The Benefits of Cell Balancing*”, July 5 2005, Application Note 141.0,sy.2, Intersil Cooperation. www.intersil.com/data/an/an141.pdf, erişim: 10.03.2008
- [17] Qian J., Vega M., “*Host-Side Gas-Gauge-System Design Considerations For Single-Cell Handheld Applications*”, 2007, Analog Application Journal, <http://focus.ti.com/lit/an/slva458/slva458.pdf>, erişim : 06.03.2008