

# Şarj Edilebilen Bataryalar ve Şarj Devreleri

Tuncay UZUN

Yıldız Teknik Üniversitesi  
Elektrik- Elektronik Fakültesi,  
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü,  
80750 Beşiktaş/İstanbul e-posta: uzun@yildiz.edu.tr

## Abstract

Portable electronic equipments are using widespread in daily life. These rechargeable batteries and their charge and monitoring circuits used in these electronic equipments are important. Therefore, these batteries and their charge circuits must be recognize for right selection and usage. In this work, these components, which are using commonly are investigated and compared. Terms for characteristic specifications of batteries are detailed explain. In addition, integrated controller based intelligent battery charge and its monitoring circuit is designed.

Keywords: Rechargeable batteries, charge and monitoring circuits.

## 1. Giriş

Şarj edilebilir bataryalar, günümüz teknolojisinin yaygın olarak kullanılan taşınabilir ev diz üstü (lap top) bilgisayarlar, telsiz ve cep telefonları gibi portatif elektronik cihazlarda güç kaynağı olarak kullanılmaktadır. Normal pillere oranla daha ekonomiktirler. Ancak bu piller cihazın içinde tümleşik olarak bulunmuyorsa, yani sökülüp takılabilen standart pil yuvaları veya paketi şeklinde ise, o zaman cihazın içinde şarj edilebilir piller için gerekli olan güç yönetimi (power management) devresi olmayabilir. Güç yönetimi devresi elektro mekanik bir sistemin işlevini yerine getirirken kullandığı enerjini en ekonomik şekilde kullanabilmesi için, sistemin kullanılmayan kısımlarının enerjisini azaltan veya kapatan, bataryaların durumunu kullanıcıya bildiren, pillerin zayıflaması durumunda şarj edilmesini sağlayan devrelerdir. Enerji üretiminin çevre kirliliğine neden olması, az enerji harcanmasıyla çevre kirliliğinin de önüne geçilmesine neden olmakta ve enerji kaynaklarının daha verimli kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bataryaların şarj edilmesinde, hızlı şarj (fast charging) ve yavaş şarj (slow charging) sağlayan devreler kullanılır. Hızlı şarj devreleri dikkatle tasarlanmalı ve batarya kimyası bakımından son derece güvenilir olmalıdır. Günümüzde kullanılan şarj edilebilir bataryaların yaygın olarak kullanılanları; Sealed-Lead-Acid (SLA), Nickel-Cadmium (NiCd), Nickel-Metal-Hydride (NiMH) ve Lithium-Ion (Li-Ion) tipleridir. Li-Ion tipi birçok portatif uygulama için kimyasal bakımdan en uygun seçimdir. Çünkü hafif olması ve kimyasal yapısı nedeniyle yüksek bir kapasite-büyük (ağırlık) oranı ve düşük bir

kendiliğinden deşarj (self discharge) karakteristiği sunar.

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından “Gezgin Robot” araştırma projesi kapsamında desteklenmiştir.

## 2. Portatif Donatılarda Şarj Edilebilir Bataryaların Önemi

Batarya seçimi için, bataryaların aşağıda verilen bazı özelliklerine dikkat edilmesi gerekir.

1. Amper-saat kapasitesi (C) ve hücre voltajı
2. Çoklu hücre düzenleri: Seri/paralel kombinasyonlar, Benzer gereksinimler
3. Ağırlık ve hacim
4. Batarya paketinin fiyatı
5. Batarya kimyası
  - a) Sealed-Lead-Acid (SLA)
  - b) Nickel-Cadmium (NiCd)
  - c) Nickel-Metal-Hydride (NiMH)
  - d) Lithium-Ion (Li-Ion)
  - e) Lithium-Metal (Diğerlerine göre yeni)

Batarya seçimi ve uygun şarj devrelerinin tasarımında gelişmeler çok hızlıdır. Portatif elektronik donatılarda ağırlık, kapasite ve fiyat başlıca önemli unsurlardır. Ne yazık ki, bu unsurlar birbirleriyle olumlu etkileşme içinde değildir, genelde uyuşmazlar. Yavaş şarj (şarj süresi 12 saatten fazla) devreleri nispeten basitken hızlı şarj devreleri batarya kimyasına uyumlu hale getirilmeli ve her ikisi de güvenli şarjı ve şarjın bitimini sağlamalıdır. Bataryaların normalden fazla şarj edilmesi, ömrün azalmasına, aşırı derecede ısınmaya, tehlikeli aşındırıcı gazların yayılmasına ve bazen bataryanın tam olarak tükenmesine neden olabilir. Bu sebepten dolayı, hızlı şarj devrelerinde, genellikle bünyesinde bulunan, şarjı bitirmek için tavsiye edilen temel bitirme yöntemine ilişkin, yedek parçalarla desteklenerek bir önceki yöntem hatası yok edilmelidir. Anlaşıldığı üzere, batarya şarj elektroniği, hem batarya şarj ve deşarj karakteristiği bilgisi hem de şarj sonlandırma teknikleri gerektirir.

## 3. Batarya Temelleri

Batarya kapasitesi (C), A-saat veya mA-saat ile belirlenir ve batarya ömrü ile şarjları arasında derecelendirme faktörüdür. Batarya akımı C-Oranı birimi ile tanımlanır. Örnek olarak, 1000 mA-h'lik bir batarya, 1000 mA 1 C-Oranına sahiptir. 1 C'ye karşılık gelen akım 1000 mA'dır ve 0.1 C'ye karşılık gelen

**Tablo 1. Şarj edilebilir batarya teknolojileri**

	SLA	NiCd*	NiMH*	LiIon*	LiM*
Ortalama hücre voltajı	2	1.20	1.25	3.6	3.0
Enerji yoğunluğu (Wh/kg)	35	45	55	100	140
Enerji yoğunluğu (Wh/l)	85	50	150	225	300
Fiyat (\$/Wh)	0.25-0.50	0.75 - 1.50	1.5 - 3.0	2.5 - 3.5	1.4 - 3.0
Bellek etkisi?	hayır	evet	hayır	hayır	hayır
Kendiliğinden deşarj (%/ay)	5 - 10	25	20 - 25	8	1 - 2
Deşarj oranı	<5C	>10C	<3C	<2C	<2C
Şarj/deşarj periyotları	500	1000	800	1000	1000
Sıcaklık aralığı (°C)	0 - +50	-10 - +20	-10 - +50	-10 - +50	-30 - +55
Çevresel etkiler	evet	evet	hayır	hayır	hayır

\*AA-Size hücre tabanlı

akım da 100 mA'dir. Belirli bir hücre tipi için, aynı C-Oranı değerine sahip değişik kapasiteli hücrelerin davranışı benzerlik gösterir.

### 3.1. C-Oranı

1. Batarya şarj ve deşarj akımları C-Oranı değeri ile belirlidir (normalize edilmiş değer).
2. C-Oranı = C / 1 saat. Burada C, A-saat veya mA-saat ile belirlenen batarya kapasitesidir.  
Örneğin:  
1000 mA 'lik bir batarya için:  
1 C 'ye karşılık gelen akım 1000 mA  
0.1 C 'ye karşılık gelen akım 100 mA  
2 C 'ye karşılık gelen akım 2000 mA olur.
3. Belirli bir hücre tipi için, aynı C-Oranı değerine sahip değişik kapasiteli hücrelerin davranışı benzerlik gösterir.

Tablo 1'de bataryaların karakteristik özelliklerini belirlemek için kullanılan değerlerin bir özeti verilmektedir. Ayrıca Tablo 1'deki değerler yaklaşık olarak baştan sona batarya teknolojisi kronolojisi dikkate alınarak verilmiştir.

Kendiliğinden deşarj, yüksüz deşarj olan bir batarya üzerindeki orandır. Bu özellik açısından Li-Ion tipteki bataryalar NiCd ve NiMH tipindeki bataryalardan daha iyidir. Deşarj oranı, maksimum geçiş yükü veya deşarj akımı olup C-Oranı birimi ile belirlenir. Şarj ve deşarj periyotlarının sayısı, bir bataryanın deşarj ve tekrar şarj edilebilmesi için gerekli olan ortalama zaman değerleri olup bataryanın kullanım ömrünün ölçüsüdür.

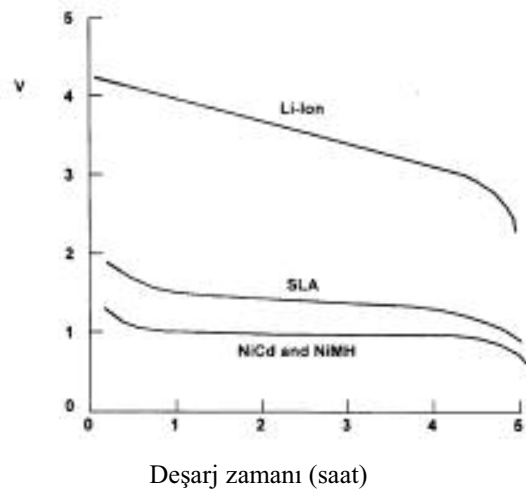
### 3.2. Şarj Edilebilir Bataryaların Derecelendirme Faktörleri

1. Hücre voltajı
2. Kapasite : C, A-saat (A-h) veya mA-saat (mA-h) birimleri
3. Enerji yoğunluğu (Hacim) : Watt-saat/litre (Wh/l) birimi
4. Enerji yoğunluğu (Ağırlık) : Watt-saat/kilogram (Wh/kg) birimi
5. Fiyat : \$/Wh birimi
6. Hafıza efekti?

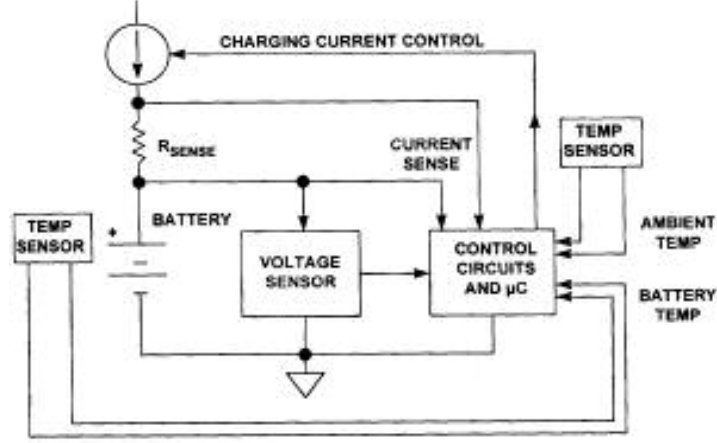
7. Kendiliğinden deşarj oranı : % /ay veya % /gün birimleri
8. Çalışma sıcaklığı dağılımı
9. Çevresel etkiler

Bellek, sadece NiCd bataryalara mahsus nadir bir özelliktir. Periyodik deşarj boyunca belirli bir seviyede ve bir sonraki şarja kadar oluşur. Deşarjdan sonra hücre voltajı normalin onlarca volt altına düşer ve geriye kalan deşarjın tamamlanması içindir. Hücrenin toplam A-saat kapasitesi ciddi bir şekilde etkilenmez. Eğer hücre hemen hemen boşalmışsa ve ardından bir ya da iki kez daha şarj edilmişse, bellek bir problem teşkil etmez çünkü NiCd batarya paketleri nadiren tekrar şarj edilmeden aynı seviyede deşarj edilir.

Çevresel etkiler, tehlikeli metal içeriklerinden dolayı SLA ve NiCd bataryaların yok edilmesi aşamalarında ortaya çıkar. NiMH ve LiIon bataryalar önemli miktarda atık içermezler ama yok edilmeleri sırasında bazı önlemler alınmalıdır. Şekil 1'de bu çok kullanılan 4 tip bataryanın deşarj özellikleri (profilleri) gösterilmiştir. Her durum için 0.2C deşarj akımı kullanılmıştır. SLA bataryalar oldukça düz bir yapıya sahipken LiIon bataryalar hemen hemen lineer (doğrusal) deşarj karakteristiğine sahiptir.



Şekil 1. Batarya deşarj eğrileri (0.2 C 'de)



Şekil 2. Genelleştirilmiş batarya şarj devresi

#### 4. Bataryaların Şarj Edilmesi

Genelleştirilmiş batarya şarj devresi Şekil 2'de gösterilmiştir. Batarya, sürekli sabit bir akımla tamamen doluncaya kadar şarj edilir. Sabit akımı sürdürmek için kullanılan  $R_{SENSE}$  direncine karşı voltaj artacaktır. Voltaj sürekli olarak denetlenir ve giriş operasyonu A/D çeviricisine sahip bir mikrodenetleyicinin kontrolü altındadır. Değişen

şarj zamanı 12 saatten az olan şarj daha az karmaşıktır ve pratik akım kaynağı gerektirir. Tablo 2'de yavaş şarjın tipik karakteristik özellikleri gösterilmiştir. Şarjın bitirilmesine ait bilgi karmaşık değildir ancak NiMH bataryaların yavaş şarj edilmesi sonucunda bir zamanlayıcı kullanılmalıdır. Eğer tabloda şarjın bitirilmesine ait bilgi yoksa belirsiz periyotlarda batarya için akım şarjı güvenilir olacaktır. Bu akım

Tablo 2. Yavaş şarj için batarya şarj karakteristikleri

	SLA	NiCd	NiMH	LiIon
<b>Akım</b>	0.25 C	0.1 C	0.1 C	0.1 C
<b>Voltaj (V/hücre)</b>	2.27	1.50	1.50	4.1 veya 4.2
<b>Zaman (saat)</b>	24	16	16	16
<b>Sıcaklık aralığı (°C)</b>	0°- 45°C	5°- 45°C	5°- 40°C	5°- 40°C
<b>Şarj Bitimi</b>	yok	yok	zamanlayıcı	voltaj sınırı

batarya sıcaklığı ve ortam sıcaklığını denetlemek için sıcaklık algılayıcıları kullanılır.

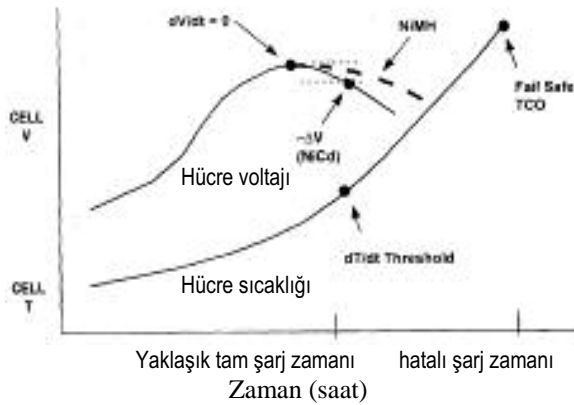
Böyle bir devre, yüksek seviyeli, karmaşık ve öncelikli olarak hızlı şarj uygulamalarında kullanılan bir devreyi temsil etmektedir ve şarj zamanı 3 saatten azdır. Voltaj ve bazen de sıcaklığı görüntülemek için batarya ve şarj sonu durumlarını belirlemek gereklidir. Yavaş yani

NiMH bataryalar için genellikle 0.03C'dir. Yani C=1 A- saat 'lık bir NiMH batarya için 30 mA güvenilir (uygun) olacaktır. Batarya üreticileri özel batarya tip ve boyutları için akım şarjı akım limitlerini önermektedirler.

Hızlı şarj edilen bataryalar (şarj süresi 3 saatten daha az) daha karmaşık teknikleri gerektirir. Şekil 3'te en çok kullanılan 4 batarya tipi için hızlı şarj özellikleri özetlenmiştir. İşin en zor kısmı, şarjın ne zaman sonlanacağına karar vermektir. Bataryanın tam şarj olmaması, kapasitesinin düşmesine, elektrolitten istenmeyen gazların çıkışına ve belki de bataryanın patlamasına sebep olabilir.

Uygun bir şarj sonlanmasının öneminden dolayı birinci ve ikinci yöntemler kullanılır. Bataryanın tipine bağlı olarak şarj sonlanması, temel olarak batarya voltajının (voltajın zamana bağlı), sıcaklık değişimi (sıcaklık değişiminin zamana bağlı), tam voltajdaki minimum akım, şarj süresi veya bunların çeşitli kombinasyonlarının denetlenmesi (görüntülenmesi) ile yapılır.

Batarya voltajı ve sıcaklık yöntemi, NiCd ve NiMH bataryaların şarj edilmesinde şarj sonlandırılması için en çok kullanılan yöntemlerdir. Bu iki batarya tipi için hücre voltajı ve sıcaklığın zamanla değişimi Şekil 3'te



Şekil 3. NiCd/NiMH batarya sıcaklığı ve voltajı şarj karakteristikleri

**Tablo 3. Hızlı şarj için batarya şarj karakteristikleri**

	SLA	NiCd	NiMH	LiIon
<b>Akım</b>	>1.5C	>1C	>1C	>1C
<b>Voltaj (V/hücre)</b>	2.45	1.50	1.50	4.1 veya 4.2±50mV
<b>Zaman (saat)</b>	≤1.5	≤3	≥3	2.5
<b>Sıcaklık aralığı (°C)</b>	0°- 30°C	15°- 40°C	15°- 40°C	10°- 40°C
<b>Birincil sonlanma</b>	I <sub>min</sub> , ΔTCO	-ΔV , dT/dt	dT/dt , dV/dt=0	I <sub>min</sub> @ voltaj sınırı
<b>İkincil sonlanma</b>	Timer , ΔTCO	TCO , Timer	TCO , Timer	TCO , Timer

C = Normal Kapasite , I<sub>min</sub> = Minimum Akım-Eşik Sonu ,  
TCO = Mutlak Sıcaklık Kesmesi , ΔTCO = Ortam Sıcaklık farkı

görülmektedir. NiCd batarya hücresele voltajda keskin bir tepeye sahipken NiMH batarya daha az belirli bir tepeye sahiptir ve bu, eğride noktali çizgilerle gösterilmiştir. NiCd batarya için en bilinen yöntem, hücre voltajının tepe değere ulaştıktan sonra 20 mV'a düşüşü ve böylece şarjın sonlandırılması -ΔV yöntemidir. Her iki yöntemde de sıcaklık tam şarja yakın olacak şekilde yükselir. NiMH bataryanın karakterindeki belirgin olmayan voltajın tepe değerinden dolayı sıcaklığın zamana göre değişimi (dT/dt) ilk (birincil) şarj sonlanma yöntemi olarak kullanılır.

Birincil sonlanmaya ek olarak ikincil sonlanmalar da ek bir koruma için yedek olarak kullanılır. NiCd ve NiMH hücreler için birincil ve ikincil yöntemler Tablo 3 'de özetlenmiştir. Bütün bu yöntemler genellikle bir mikrodenetleyici tarafından denetlenir. Uygun sinyal uyarılmasından sonra hücresele voltaj ve sıcaklık sayısal büyüklüklere dönüştürülür. Bunu mikrodenetleyici içinde bulunan 8 ya da 10-bit A/D dönüştürücüler yapar.

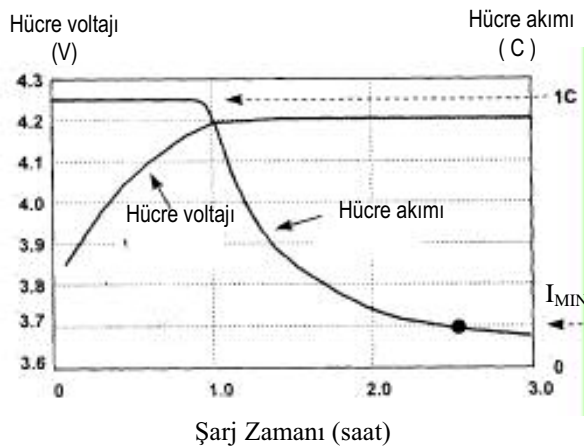
Li-Ion hücre sabit akım kaynağı ile şarj edilip hücre voltajı yavaş yavaş yükselirken diğer kimyasallardan oldukça farklı davranır. Li-Ion batarya için ideal şarj kaynağı akım sınırlamalı sabit voltaj kaynağıdır (bazen sabit akım -CC- bazen de sabit voltaj -CV- denir). Sabit akım hücreye, hücre voltajı batarya voltajına erişinceye kadar uygulanır (Li-Ion hücreler için en fazla 4.2 V ± 50mV 'dur. Bazı üreticilerin hücreleri tam şarja 4.1 V 'ta ulaşır). Bu noktada, şarj devresi

sabit akımdan sabit voltaja atlar ve şarj akımı yavaşça düşer. Bu düşüşün sebebi içsel hücre direncidir. Akım belirlenmiş minimum değer olan I<sub>min</sub> 'in altına düşerse şarj sağlanmış olur. Batarya sabit akım modundayken toplam şarjın hemen hemen %65'ine ulaşılır ve en son olarak sabit voltaj modu boyunca da %35 sağlanır.

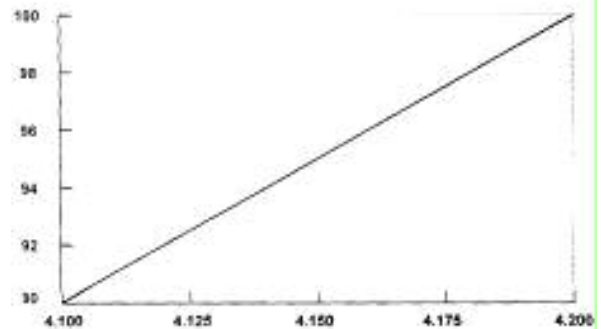
Eğer hücre sıcaklığı maksimum değerine ulaşırsa ikincil şarj sonlanması genellikle bir zamanlayıcı ile elde edilir (TCO-Temperature Cutoff).

Li-Ion bataryaların normalden fazla şarj edilmesine karşı son derece duyarlı olması önemli bir noktadır. Normal şarja göre fark, çok çok az olsa bile tehlikeli bir patlamaya ya da bataryanın ömrünün ciddi anlamda azalmasına sebep olabilir. Bu sebeple, şarj voltajının istenilen 4.2V'luk değer ± 50mV yakınında olacak şekilde kontrol edilmesi çok önemlidir.

Çok sayıda Li-Ion hücre içeren batarya paketleri genellikle eşleşmiş hücreler ve voltaj eşitleyicilerle üretilir. Dış şarj devreleri şarj akımını kontrol eder ve batarya paketi içindeki voltajı görüntüler. Her bir hücrenin voltajı ayrıca görüntülenir ve hücreler uzaktaki FET'lerin deşarj voltajından daha yüksek voltaja sahiptirler. Normalden fazla şarjın tehlikeleri

**Şekil 4. Li-Ion hızlı şarj karakteristikleri**

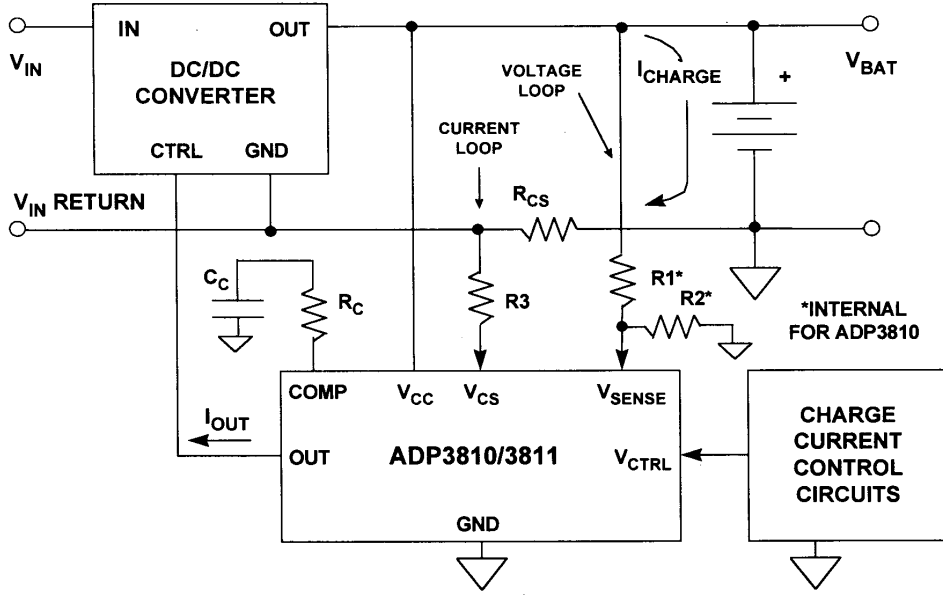
Kapasite (%)



Son Batarya Voltajı (V)

**Şekil 5. Li-Ion batarya voltajı ile kapasite arasındaki ilişki**

göz ardı edildiğinde, Li-Ion hücrenin kapasitesi ile batarya voltajı arasındaki ilişki Şekil 5'te gösterildiği gibidir. Eğer batarya sadece 100mV fark ile şarjı bitmemişse kapasitesinin %10'unu kaybedecektir. Bu sebeple Li-Ion şarj devrelerinde son şarj değerinin mutlaka kontrol edilmesi gerekir.



Şekil 6. ADP3810/3811 tümleşik devreli basitleştirilmiş batarya şarj devresi

## 5. Tümleşik Şarj Devreleri

Yukarıdaki açıklamalardan anlaşılıyor ki, uygun bir şarj için hücre kimyasından ziyade batarya voltajı ve akımının kontrolü daha büyük bir önem taşır. Batarya şarj ve izleme amaçlı tümleşik devreler, bu işlemin daha kolay yapılmasını sağlar. Örnek olarak Analog Device firmasına ait ADP3810/3811 tümleşik devre serileri verilebilir. Bu tümleşik devreler Standart Li-Ion hücre ya da hücrelerinin 4.2 V ( 1 hücre), 8.4 V (2 hücre), 12.6 V (3 hücre) ve 16.8 V (4 hücre) değerlerinin kesinlikle düzenlenmesini sağlar. Li-Ion hücrelerinin şarj edilmesinde hücresel voltajın son değerinin önemi çok büyüktür. Şarj akımının değeri dışarıdan uygulanan voltaj ile kontrol edilebilir. Şarj akımı, bir giriş ucu voltajı ile denetlenip sabit tutulabilir. ADP3810/3811, buck, flyback ve lineer regülatör gibi farklı tipleri olan bir DC-DC dönüştürücüye sahiptir. ADP3810/3811 akım ve voltaj döngülerinin kesin kontrolünü sağlar. Şarj akım değeri,  $R_{CS}$ ,  $R_3$ ,  $G_{M1}$  den oluşan geri besleme döngüsü, DC-DC dönüştürücü ve  $V_{CTRL}$  girişiindeki DC voltaj ile kontrol edilir.

## 6. Sonuç

Araştırılarak incelenen güç yönetiminde önemli bir yer tutan şarj edilebilen bataryalar ve şarj devreleri konusunda yeterli bilgi birikimi oluşturmuştur. Bu çalışmanın devamında, elde edilen bilgi birikimi kullanılarak bir gezgin robotun güç yönetim devresinin ve batarya sisteminin tasarlanması düşünülmektedir.

## KAYNAKÇA

- [1] Practical Design Techniques for Power and Thermal Management, Analog Devices 1998.
- [2] Intelligent Battery Charger Reference Design, Microchip Technology Inc., 1997

[3] Simple Switch mode Lead-Acid Battery Charger, Unitrode Application Notes U131

## Tuncay UZUN

1963 'de Şile'de doğdu. 1985 'de Yıldız Üniversitesi'nden Elektronik ve Hab. Müh. derecesini aldı. 1986 yılında aynı üniversitenin Elektronik ve Hab. Müh. Bölümü Devreler ve Sistemler Anabilim dalına Araştırma Görevlisi olarak atandı. 1987'de Yıldız Teknik Üniversitesi'nden Elektronik ve Hab. Yüksek Müh. , 1994 'de Doktor Müh. derecelerini aldı. Aynı yıl Elektronik Anabilim dalında Y. Doç. kadrosuna atandı. 1995 'den bu yana Devreler ve Sistemler Anabilim dalında çalışmalarını sürdürmektedir. Programlama dilleri, kişisel bilgisayar donanımı ve yazılımı, bilgisayarlı ölçme ve kontrol sistemleri, mikroişlemciler, mikrodenetleyiciler, programların denetleyiciler, devreler ve sistemler teorisi konularında çalışmaları bulunmaktadır.

